



Photo Yasuhiro Kirano

## Index

東日本大震災から10年 .....	細田 敏和	1
放射線影響協会からのお知らせ 「放射線の影響がわかる本」の改訂版を公開 .....		6
整形外科領域での職業被ばくに対する取り組みについて...	伊藤 淳二	7
〔コラム〕 27th Column 【デンタルケアの重要性】.....	中川 恵一	12
〔放射線道場の喫茶室〕 第8回 万華鏡で覗いた放射線量 .....	鴻 知己	13
図説 量子ビーム・放射線利用 －第10回 放射線測定は考古学である（その2）－ .....	岡田 漱平	15
〔サービス部門からのお願い〕 ごユーザーの変更連絡はお早めに.....		19

# 東日本大震災から10年

代表取締役会長兼社長 最高経営責任者 細田 敏和

## はじめに

2011年3月11日の東日本大震災から10年が経過しました。東北地方太平洋沖で起きた巨大地震とこれに伴う津波によって、東北地方と関東地方の太平洋沿岸部に甚大な被害が発生しました。犠牲者は、不明の方を含めて18,000人に達しました。謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

また、この津波の影響により、東京電力(株)の福島第一原子力発電所事故が発生しました。当時を振り返りながら、原子力事故と「ガラスバッジ」について記述したいと思います。

## 震災発生時

震災発生時、弊社の福島営業所（当時所在地：福島県双葉郡富岡町）の所員の多くは近隣の原子力発電所に出かけていました。また、東京の本社から福島第一原子力発電所に向かっていた社員もおりましたが、この社員はJR常磐線富岡駅の手前で地震に遭遇し、2日間音信不通になりました。また、女川事務所（宮城県牡鹿郡女川町）の所員は東北電力(株)女川原子力発電所内の事

務所から帰宅できずに、1週間もの間お客様先でお世話になった社員もいました。そのような状況の下、社員全員の安否確認が終わったのは、3月15日でした。社員は全員無事を確認できたのですが、社員のご家族2名が津波でお亡くなりになりました。

福島営業所の建屋は、地震で大きな被害を受けたために執務不能になっていました。東京の本社ビルもダメージを受けましたが、倒れたキャビネットや破損した備品を片付けて早期に復旧しました。



地震直後の福島営業所内部の様子



福島営業所外壁

## ガラスバッジサービス

ガラスバッジの組立・測定をしている茨城県大洗町のラディエーションモニタリングセンターの被災状況はとても心配でしたが、多数ある装置類は転倒防止対策をしていたため大きな破損がなく、電気、水道の復旧を待って1週間後には完全復旧しました。電気、水道の供給については、日頃から弊社の業務の社会的な責任をご理解いただいていた大洗町役場の方々のご支援があって早期に操業再開ができました。震災が発生した毎月中旬頃というのはお客様から返送されたガラスバッジを測定し報告書を発行する時期にあたりますが、大幅に遅れることなく測定結果をお届けすることができました。

ただ、3月11日以降、各地から茨城県内へ送る郵便・宅配物の受付と、茨城県からの他地域への郵便発送の受付が停止されました。このため、ガラスバッジの受発送窓口を東京の本社に切り替えました。本社近くの郵便局の扱い量が普段の100倍にもなってしまう大変でしたが、郵便局の皆様は弊社の業務内容をよくご理解くださって、大量の受発送にご対応いただきました。東京で受領した“装着済みのガラスバッジ”は、毎日トラックで東京から大洗まで運びました。そして帰り便で“組立が終わったガラスバッジ”を東京の本社に持ち帰り、本社から全国各地のお客様へお送りしました。

東京から大洗町までは普段は2時間くらいで行ける道なのに、道路の不通箇所が多

く片道8時間以上かかりました。さらには関東を含め被災地全域でガソリンの入手が難しく運送業者さんを悩ませました。

困難な状況にあってもガラスバッジサービスを止めることなく継続できたのは、関係する皆様のご協力あってのことです。あらためて感謝申し上げます。

## 住民向けガラスバッジ（市民線量計）

地震に加えて、その後襲った津波のために、東京電力(株)福島第一原子力発電所では外部電源および非常用発電装置の全機能を喪失しました。このことで冷却不能になり、炉心溶融、水素爆発を起こして、福島県内や近県、遠くは静岡県にまで放射性物質が飛散し汚染し、多くの住民が避難を余儀なくされました。

福島県内の避難場所には原子炉から出て風に運ばれた放射性物質の降下（フォールアウト）があり、放射線レベルが上がってしまいました。

各地の放射線レベルを測定して、避難すべきかどうか、また、その避難を継続すべきかどうか、の方針を自治体と国が定めませんが、当初避難した方々の被ばく線量評価は、「空間線量率から計算で求める」との考えに沿っており、一人ひとりを行動別に解析するのは非常に大変でした。

その中で近畿大学がいち早く川俣町の復旧・復興を全面的に支援することを発表し、その一環として弊社と共同で住民の被ばく線量測定を実施することになりました。原



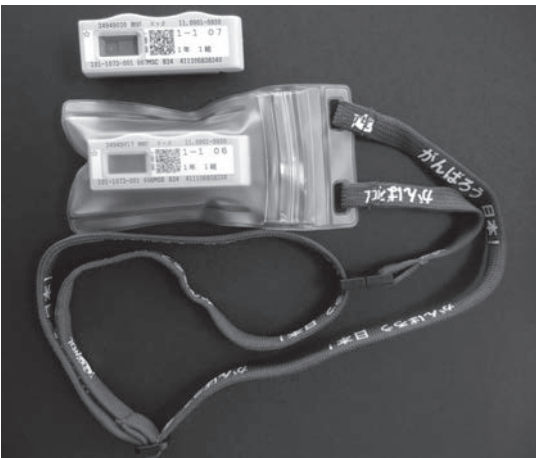
子力発電所事故から4か月後の2011年7月に幼児、小学生、中学生、妊婦の方々、計1,700名に対してガラスバッジによる測定を始めました。

その後、国会で国会議員とともに当時国立がん研究センター理事長・総長の嘉山孝正先生が「ガラスバッジ（市民線量計）を全員に装着させ、個人の安全確認するよう…」と国に進言して下さって、福島県内の各自治体で市民線量計が配布されることとなりました。

居住地域、周辺地域の放射能除染が進み、年月が過ぎるごとに放射性物質の減衰もあ

り、居住地域の放射線レベルが下がってきました。現在では各自治体での市民線量計の装着数は減少しましたが、2020年12月末までに累計130万件の測定を致しました。各自治体ではそのデータを基に住民の方々の年齢別、職業別、地区別等の分析をして住民に発表し、安全・安心に繋げてくださっています。

過去に起きた大きな原子力事故（スリーマイル島原子力発電所事故・アメリカ1979年3月、チェルノブイリ原子力発電所事故・旧ソ連1986年4月）の直後から、住民の放射線被ばくを専用の測定器で測った事例はありません。世界で初めての貴重なビッグデータです。私はこの貴重なデータを国で管理して国際的に分析利用すべきと思っており、各方面へ訴えております。



市民線量計



市民線量計を手にする児童ら(朝日新聞社提供)

### D-シャトル（帰還住民用線量計）

除染が進み、年間積算線量が20ミリシーベルト未満になった地域の避難指示が解除されて、避難先から元居住地へ住民の帰還が進みましたが、そこはまだ事故前よりも線量が高いために、住民が安全を確認するため、被ばく線量をご自身で確認することができる帰還住民用の被ばく線量計「D-シャトル」を産業技術総合研究所と開発し、自治体や関係機関へ提供しました。この線量計は、電池式で1時間毎の被ばく線量を1年間保持し、専用の線量表示器でいつでも、前日の線量と装着当初からの積算線量が自分で確かめられ、しかも専用のソフト



D-シャトル(左)と表示器(右)

ウェアを使えば、全期間の詳細データを表示、記録することができます。

帰還が始まってからすでに、28,000個が自治体経由で貸し出しされ、現在もなお帰還住民の方々の安全確認にお役立ていただいています。

### お守り線量計

10年前の事故以前に評論家・元原子力委員木元教子先生、ノンフィクション作家上坂冬子先生から、「女性、特に主婦は家の近所を含めて行動範囲が広く、どこで放射線を被ばくするかもわからないので、簡単に持ち運べる測定器を作ってください」と言われ、ちょうどガラスバッジの開発検討を始めていた時に、遺伝学者・放射線ホルミシスの研究者・大阪大学名誉教授の近藤宗平先生が書かれた本「人はなぜ放射線に弱いのか」（講談社ブルーバックス）に巡り合えて、ガラス線量計を使用した「お守り線量計」を創り両先生の口利きで各地の婦人団体に提供していました。

「人はなぜ放射線に弱いのか」からの抜粋を記述します。

《…原子力行政に関しては政府や電力会社に対する市民の不信感が依然として根強く、その原因の一つが放射線に対する不安である。このような不安を持っている人に私が勧める対応は、「リン酸ガラス線量計」を入手して、いつも身につけておくことである。そうして、1年に1回はこの線量計に記録された線量の読みを検定してもらうことである。この線量計は、横田良助博士が1960年代初期に世界最高の製品にしたものである。これの読みの検定法が近代化され、自然放射線の程度の微量被ばくからモニターできるようになった。

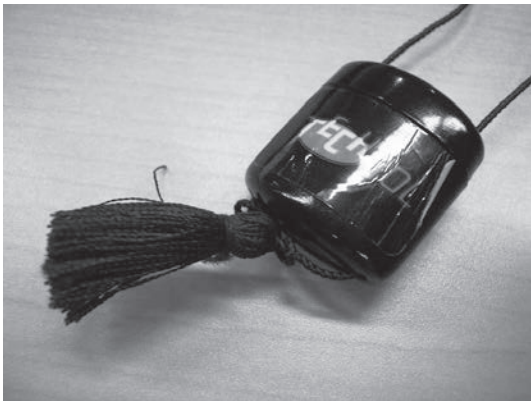
この世界最高の信頼性と精度を持つ線量計は、毎日の被ばく量の積算値をモニターしてくれる上に、大量被ばくも正確に記録する。写真フィルムは精度がおちるし、累積被ばく量を測定できない。旧ソ連の科学者は正確な線量計の価値をよく知らなかったようである。

(註：リン酸ガラスで放射線を測ることができる現象は旧ソ連で発見され、アメリカで測定器としての開発が進んだ、近藤宗平先生がアメリカ・オークリッジ研究所に留学されたころ盛んに研究されており、近藤先生が人工衛星ジェミニでの生物実験で使用された。一方アメリカの軍隊で核戦争を想定した被ばく線量計として使われた。)

私の提案について、そんな細かい話かとはっかりしないしてほしい。自然放射線の程度の微量まで正確に割安で測定できる。1年間の自分の自然被ばく量を知ることができるのは、放射線

のすばらしさであり、線量計のすばらしさである。毎年微増する自然被ばくの程度の放射線なら「心配無用」と線量計が教えてくれる。安全かどうか、他人の言葉に左右されないで、自分で判断できる。すなわち、最良のお守りになる。…》

今から21年前の2000年に、弊社ではそれまで46年間放射線被ばく線量測定サービスの主力測定器であった「フィルムバッジ」から、新たに開発した「ガラスバッジ」に全面的に切り替えましたが、そのきっかけは近藤宗平先生のこの一文が大きく影響しています。



お守り線量計  
(ミニ印籠の中に超小型ガラス線量計が入っています)

## 安全・安心を願って

当時、東京電力(株)福島第一原子力発電所では、放射線被ばく管理は入退域管理併用の電子線量計を使用したコンピュータ管理を行っていましたが、事故発生時には、全

電源喪失のため、作業者が管理区域入域の登録、退出時の線量記録をすべて手作業・手集計で行うことになり、混乱が生じていました。

事故の復旧作業には大量の作業者が入域しますが、この方々の被ばく管理を行うため、弊社の全国各地の営業所に保管していた未使用のガラスバッジ約20,000個を急ぎ回収して福島第一原子力発電所に届けました。このことにより初期の事故対応に入る作業員の方々に個人専用の線量計をお届けすることができ、事故処理に貢献することができました。

また、事故直後は電力不足が深刻な状況となり、広い範囲で計画停電（輪番停電）が実施されました。地域ごとに信号や街灯など町の明かりがすべて消えたことを今でも鮮明に覚えています。

発電量の不足を解消すべく、国と各電力会社が一丸となり電力供給の安定化をはかり、また、被災して停止していた火力発電所の復旧作業も旧ピッチで行われましたが、福島第一原子力発電所からのフォールアウトで放射線レベルが高かった地域での復旧作業をされる方々へもガラスバッジを急ぎお届けしました。

## 終わりに

弊社は創業から今日に至るまで、放射線安全のためにどのような社会貢献ができるのかを問い続けてまいりました。安全を担保できているか、安心を提供できているか、

ということを日々自問しています。

今月で震災から10年が経過し、津波被害と原子力発電所事故からの復旧・復興に関する考察や原子力発電所に対する国の方針などもあらためて整理されてゆくと思います。

弊社はこれからも「放射線の安全利用技術を基礎に人と地球の“安心”を創造する。」という企業理念のもと、いかなる状況下にあってもお客様と関係者の皆様に安心をお届けできる企業であり続けたいと願っています。

### ●放射線影響協会からのお知らせ

## 「放射線の影響がわかる本」の改訂版を公開



放射線影響協会（佐々木康人理事長）は、放射線や健康への影響を解説した「放射線の影響がわかる本」の改訂版を作成・公開いたしました。

放射線影響協会は、昭和35年（1960年）に財団法人として設立され、平成24年（2012年）に公益財団法人に移行し、本年9月で設立60周年を迎えました。今般、設立60周年記念事業の一環で改訂版を公開いたしました。

放射線影響の研究は、近年、細胞や遺伝子の研究の発展に伴って生命の設計図と言われるDNAの研究が進展し、放射線によって傷つけられたDNAの修復や突然変異のメカニズムが徐々に明らかになってきています。また、放射線の影響と「がん」は切り離せない関係にあります。また、「がん」についての研究は、遺伝子解析技術の発展に伴って飛躍的に

に進歩しています。

今回の改訂では、こうした放射線影響やがんについての最新の研究成果を取り入れて、放射線影響についてこれまでに分かってきたことをできるだけ平易な言葉で紹介することとしました。

今回の改訂では、より多くの方々に読んでいただけるように、協会のホームページ上で公開する形を取りました。

[http://www.rea.or.jp/wakaruhon/kaitei2020/wakaruhon\\_main\\_.html](http://www.rea.or.jp/wakaruhon/kaitei2020/wakaruhon_main_.html)

本書が放射線の影響について、みなさまの理解をさらに深めていただくことにお役に立てれば幸いです。



# 整形外科領域での職業被ばくに 対する取り組みについて



伊藤 淳二\*

## 1. はじめに

整形外科診療において放射線は必要不可欠なものである。診断・検査・手術・治療経過観察のいずれのフェーズにおいても重要な役割を果たす。放射線被ばくについては患者にとってはメリットが多いが、医療者にとっては仕事上のメリットはあるものの、医療者自身の被ばくはまさに身を削っているわけで、可及的に少なくする必要がある。

2021年度から水晶体被ばく線量が大幅に下げられることになった。この機会に水晶体に限らず、整形外科医の被ばく低減のための取り組みについて述べる。

## 2. 放射線被ばくに係る実態調査

2019年6月に行われた第5回目の水晶体の被ばく限度の見直しに関する検討会で整形外科のガラスバッジ装着率がわずか17%という驚くべき数字が出された。調査施設数が少なかったとはいえ衝撃的な数字に、日本整形外科学会（日整会）では2020年に会員全員に向けてアンケート調査を行った。ドラフトであるが1万人以上の回答が得られ（回答率40.0%）約60%がバッジを装着していたが100%には遠く、装着部位では頭頸部・目の周囲を併せても約5%程度と非常に低い数字であり、水晶体被ばくについてはバッジ装着率の向上と装

着部位についての周知・啓蒙が課題である。被ばくの際は検査、手術、撮影介助の順に多かった。

## 3. 手術・検査時の放射線被ばく対策の問題点

放射線被ばくの低減を推進していくために2020年10月に刊行された「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」を日整会ホームページにアップし<sup>1)</sup>、会員へ放射線被ばく低減に向けて情報発信した。ガイドラインの中のパルスレートを下げる、立ち位置への配慮、絞り・デジタルズーム・ワンショット透視の活用については注意を払っている整形外科医は多くなく、有用な内容である。手技内容の共有はチーム医療の推進にもつながり重要と考えている。しかし、遮へい板の活用はカテーテル操作ではなく照射野での作業の多い整形外科では術者が活用できる場面が少なく、また、手指の被ばくへの配慮については照射野に手指を入れなければならない手技があること自体が問題であり、手技あるいは器械の改良が求められる。被ばくの多い個々の手技について説明する。

### 1) 骨折手術における透視下での手技

骨折の整復時には透視が不可欠であり、このときに照射野に術者の手が入ることが多い。

\* Junji ITO 青森県立中央病院 整形外科 診療部門長・整形外科統括



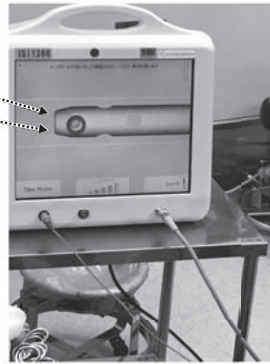


図1 術者も助手も放射線を用いずに電磁場フィールドでモニターを見ながら髄内釘に横止めスクリューを入れることができる。

対策としては絞りを用いて必要な部位の最小限の照射野にする。さらに骨折の整復では高い画質は求められず、パルスレートを可及的に下げること、one shot imageを用いることで被ばくの低減が可能となる。整復後の全体のalignment（配列）を見るときは術野から離れたところを保持してチェックする。髄内釘の横止めスクリューの刺入は放射線照射方向と一致しているため照射野に手が入ることがあるが、照射野に手を入れなくても刺入できるホールインワンガイドを使用したり、最近では電磁場フィールドトラッキングシステムにより放射線透視なしで横止めスクリューが刺入できる器械が開発されている（図1）。

## 2) 造影検査

放射線を使用する造影検査には脊椎造影、関節造影などがあるが、検査で術者の被ばくが問題になるのは頻度が高く、照射方向と平行に針を刺入する必要がある選択的神経根ブロック(Selective Radiculography and Block, SRG)である<sup>2)</sup>。

SRGは頸部あるいは腰部の神経根

にスパイナル針を刺し、造影剤で神経根を確認して局麻剤単独、あるいはステロイド剤とともに神経根周囲に薬剤を浸潤させる手技である。椎間板ヘルニアなどの神経根症状に対しては瞬時に痛みを和らげる治療であり、また腰部脊柱管狭窄症などの多椎間での複数神経根障害においてはSRGにより責任病巣を診断し、術式椎間高位の選択に欠かせない手技である。皮膚の刺入から神経根に当たるまで間欠的にとはいえ手が照射野に入るため手指が直接被ばくする。調査でも脊椎外科医の利き手の拇指の爪の変色が多く、同部位に皮膚

癌を発症して労災認定になった事例もある<sup>3)</sup>。

SRGでの放射線被ばくを低減するには、まず刺入部位の皮膚上に事前にマーキングしておき、そこから垂直方向に刺入すれば神経根に当たるように管球をセッティングしておく。ある程度刺入したらone shot imageで方向が正しいかどうか確認して正しい方向に修正して針を進め、神経根に当たったときに見られる再現痛が得られたところで刺入をやめる。次に針の内筒を抜いて延長チューブを接続して造影剤をいれ、神経根に当たっているのが確認されたらブロック剤を注入する（図2）。

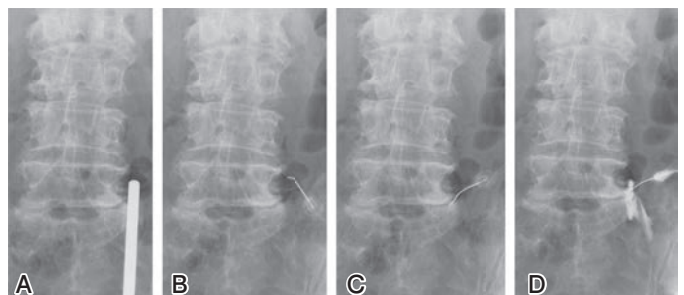


図2 術者の手指被ばくを低減する腰椎選択的神経根ブロック

A：腹臥位で穿刺部位の皮膚上にマーキング。  
B、C：ブラインドで針を進め要所でone shot image  
D：造影剤を入れるときは延長チューブを使用して手指は照射から離す。

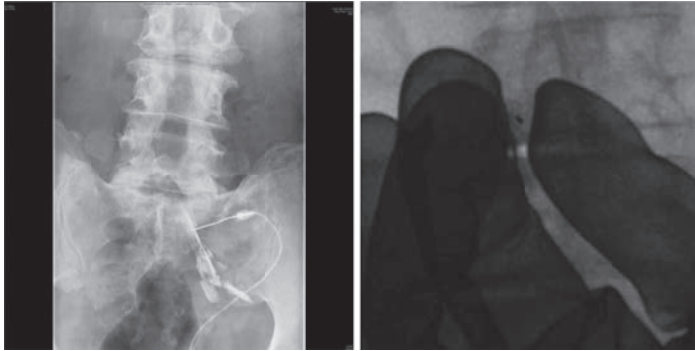


図3 選択的神経根ブロック(左)、防護手袋を装着すると必要な部分が見えなくなる(右)

放射線防護手袋は本来散乱線の防護に使うものであり、直接照射への対策をするものではないこと、さらに厚いものでは放射線遮へい機能は優れているものの固くて使い勝手が悪く、使い捨てなのに高価である。何より必要な術野が見えなくなるので実用的ではない(図3)。穿刺針を撮子やペアンで保持して照射野外からの操作で行う方法もあるが、刺入方向が不安定で時間がかかり患者の被ばくが増加する可能性がある。

関節造影や関節内ブロックはMRIや超音波に移行し、被ばくの機会を減少している。

### 3) 椎間板造影・椎間板内酵素注入療法

椎間板造影はMRIの普及によりその機会は激減していた。しかし近年、腰椎椎間板内に

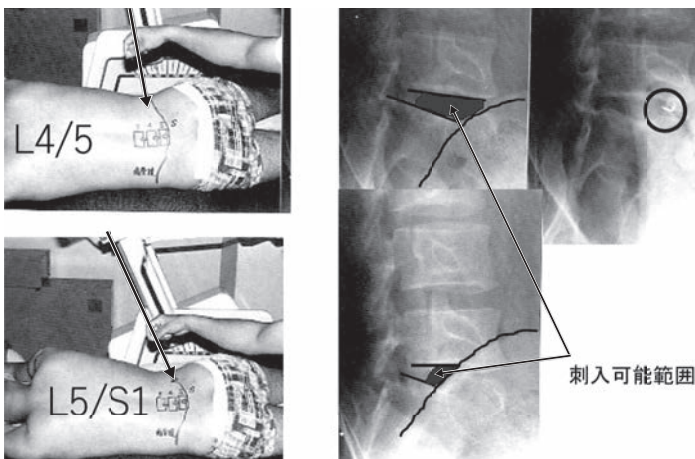


図4 椎間板造影刺入角度

酵素を注入することにより椎間板ヘルニアを縮小させる、という治療が広がってきたことにより、その手技が必要になってきた。腰椎椎間板ヘルニアはL4/5とL5/S1高位に好発する。椎間板は神経根より深い位置にあり、前述のSRGでは長さ90mmのスパイナル針を使用することが多いが、椎間板への刺入では長さ150mmのPTCD針を使用することが多い。特にL5/S1

レベルでは腸骨稜の陰になるため、腸骨稜を避けるためには頭側に約30度、外側に約45度程度管球を傾けないといけない<sup>4)</sup>(図4)。刺入深度、長い針のコントロールを必要とするため、術者がしっかりと針を保持しなければならず、照射方向に平行に刺入するため術者の手指に直接被ばくするので、SRGに習熟した術者が行わないと被ばく量が増える。被ばく対策としてはone shot imageの使用であるが、側方からの角度が浅いと椎間板の前方に針が進むため、腹部大動脈や下大静脈を穿刺する可能性があり、one shot imageもSRGに比べ頻回に行わなければいけない。

### 4) 椎弓根スクリューを使用した脊椎手術

脊椎固定術は近年広く行われているが、椎弓根スクリューは脊椎後方から椎弓根を経て椎体に刺入する方法で固定力が強く、術翌日から離床が可能になる。全脊柱に用いられるが椎弓根から逸れると重大な合併症を起こす可能性があるため、ほとんどの例で透視下に行われる。刺入点の確認のために放射線透視下に行うことが多く、刺入方向が照射方向と平行なため術者の手が照射野に入る。One shot imageを多用して被ばくの低減を図るが、手術台上の固定された体位での透

視は見にくいことが多くパルスレートを下げるのが困難な例も多い。また椎弓根スクリューの刺入方向は、椎体ごとに角度が異なり管球の角度を変える必要があり、医師と放射線技師との手術内容の共有は無用な被ばくを防ぐために必要で、術直前のブリーフィングも有効である。

まず透視下に椎弓根の刺入点をマークし、そこから椎弓根が一番クリアに見える方向に刺入する。刺入の途中では透視は使わずに時々刺入経路の内側をプロービングして椎弓根の骨皮質を貫いていないことを確認しながらスクリューを進める。深さは側面透視で確認するがこのときは直接の被ばくはなく、刺入後は正面と側面で適切な位置にスクリューがあるか確認する。

腰椎の椎弓根は比較的大きいが、脊柱のいずれの部位でも内側に逸れると脊髄や馬尾損傷を起こし麻痺を起こす可能性がある。外側に逸れると腰椎では分節動脈損傷により出血性ショックを、胸椎の左側では大動脈損傷、頸椎では両側とも椎骨動脈損傷を起こし、いずれも致命的な合併症を起こす可能性があるので十分に注意しなければいけない(図5)。

近年、放射線被ばくを低減するためにナビ

ゲーションを用いる施設も増えてきた。しかしながら術前データから画像を構築するタイプでは術中体位との不一致によりナビゲーションの精度が低くなる。術中に手術部位のCT画像を取ることができるO-armは撮影中に術者らは術野から離れることができ術者らの被ばくを低減して、正確なCT画像を得られるので非常に安全で有用であるが、高価な機器なので広く普及するには至っていない。

#### 4. 整形外科医の職業被ばくの低減に向けて

整形外科領域での放射線は診療における必須アイテムでありその歴史は長い。造影剤を腹部臓器になじませるために、消化管透視においては術者が患者の腹部を透視下に直接被ばくを受けながら腹部を圧迫していたのは大昔の話であり、現在そのような方法を用いる医師は皆無である。しかしながら、整形外科医は現在もお昔ながらの照射野に手を入れて操作をする場面がある。椎弓根スクリューは1980年代に普及してきた術式であるが、当初は椎弓根の太い腰椎で適用されていた術式であるが、手技が進化するにしたがって胸椎、さらに頸椎にまで適用されるようになった。腰椎は椎弓根も大きく、スクリューの刺入も胸椎や頸椎に比べれば手技も容易で、内側に逸脱しても比較的硬膜管にゆとりのある馬尾、外側に逸脱しても分節動脈を刺入する率は少なく、比較的大きな合併症を起こすことなく施行することができ、one shot imageの使用、アンダーチューブでの透視、術者のラーニングカーブとともに透視時間を減らしていくことが可能になってきた。それに比べると頸椎・胸椎では内側に逸れると脊髄損傷を、外側に逸れると頸椎では椎骨動脈損傷、胸椎では大動脈損傷を起こす可能性があること、さらに腰椎に比べ胸椎・頸椎と上に行くにつれた椎弓根が小さくなりより高いスクリューの刺入

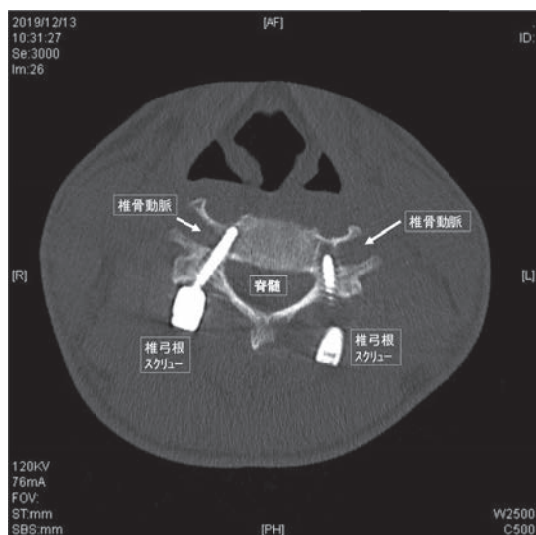


図5 椎弓根スクリュー術後CT像



精度が求められる。必然的に透視に頼る時間が長くなり、術者や助手の被ばくは増加する。特に最近では皮膚を大きく切開して術野を展開する従来法から、スクリュー刺入部位のみに小切開を加えてスクリューを刺入して固定術を行う低侵襲手術（最小侵襲脊椎安定化術Minimal Invasive Spine stabilization, MIST）が普及してきたため、より放射線透視に依存する時間が長くなってきた。このような流れから、手術手技の進化によりより高い精度での透視下の作業が求められるようになり、従来にも増して透視下での直接作業が増加したことがご理解いただけるかと思う。

患者さんのためだからと言って、整形外科医が身を削って放射線被ばく下に手を入れ、管球の近くで目に放射線を浴びることは許されることではない。整形外科医の被ばく低減は散乱線のみならず直接線への対策が必要である。前者については時間・遮へい・距離の放射線防護の3原則を守り、昨年出版された「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」に書かれた放射線を取り扱う際の注意事項を遵守することである程度の被ばく低減は可能になるかと思われる。後者である直接線についてはone shot imageなどの多用、パルスレートを下げるなどは活用できるものの、術者の立ち位置には制約があり、重大な合併症を避けながら刺入方向の安全を確保するためにはより精度の高いナビゲーションシステムの開発、O-armの普及など医工連携による機器の進化が求められる。高価な機器も多いため必要でも導入できない施設も多く、環境にやさしい自動車は減税されるのと同様に患者さんや医師にやさしい機器に対しては補助がでるようなシステムも訴えていく必要があると考える。頻度として被ばくの機会が多い選択的神経根ブロックにおいても、被ばく低減用の穿刺針の開発が望まれる。

また、低侵襲脊椎手術はがんの骨転移に適用されるケースも多く、多くの場合すでに患

者さんは胸腹部の造影CTを撮影されていることが多い。脊椎の構築性の評価に全脊柱のCTが必要となる場合、すでに撮影された胸腹部のCTのデータを再構築することで患者さんへの被ばくを低減できるので、この方法についても整形外科医に周知する必要がある。

2021年4月からの水晶体被ばく限度の見直しを一つの契機として、整形外科医への放射線防護、被ばく低減、被ばく線量のモニターの必要について改めて周知・啓発していきたい。

#### 参考文献

- 1) <https://www.joa.or.jp/member/committee/security/pdf/housha-guidelines.pdf> (2020.12.25)
- 2) 菊池臣一, 蓮江光男, 伊藤司, 他: 機能的診断法としての神経根ブロック-局所解剖的, 臨床的検討-, 整形外科33: 289-297, 1982
- 3) 佐藤隆弘: 整形外科医が職業被曝により皮膚癌に罹患した経験-公務災害認定から手術, 職場復帰まで-, 日整会誌93: 793-796, 2019
- 4) 伊藤淳二, 原田征行: 椎間板造影, 骨・関節・靭帯9: 1335-1340, 1996

#### 著者プロフィール

1959年三重県四日市市生まれ。1977年三重県立津高校卒業、1983年弘前大学医学部卒業、1987年弘前大学大学院博士課程修了。1990-91年Case Western Reserve University留学。1995年弘前大学整形外科講師、2000年北秋田市民病院副院長、2002年青森県立中央病院整形外科部長、弘前大学臨床教授、2015年より現職。2016年名古屋大学「明日の医療の質向上をリードする医師養成プログラム」(ASUISHIプロジェクト) I期生修了。2018年第20回日本医療マネジメント学会最優秀演題賞。2019年日本整形外科学会理事(安全医療推進担当)。「医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン」作成委員、名古屋大学患者安全推進部「最高質安全責任者養成講習」講師、日本病院会医療安全管理者養成講習講師。日本整形外科学会専門医・脊椎脊髄病医、医療安全管理者、ICD、日本クリニカルパス学会認定パス指導者。



## デンタルケアの重要性

映画「プリティー・ウーマン」の中で、新米娼婦役のジュリア・ロバーツが、ハリウッドの超高級ホテルのpenthouseのバスルームでこっそりデンタルフロスを使うシーンがありました。

大富豪役のリチャード・ギアが麻薬と勘違いして怒鳴りますが、彼女が隠したのはフロスと分かり、彼はジュリアを見直します。米国では歯の手入れをきちんと行うことは、自己管理や将来への希望の象徴と考えられているようです。

歯磨きをして口の中を清潔にすることはがんの予防や治療にも大いに役に立ちます。

愛知県がんセンター研究所（名古屋市）の調査によると、1日に2回以上歯を磨く人は、1回の人と比べて、口の中や食道のがんにかかるリスクが3割も低くなることが分かりました。逆に、全く磨かない人では1回磨く人よりリスクは1.8倍に、2回の人より2.5倍にもアップしていました。

同研究所では、歯の数とがんのリスクとの関係も調査しています。その結果、歯の数が減るほど、食道がんが増えることも分かりました。9～20本の人では、21本ある人に比べて、3%しか食道がんのリスクは増えませんが、1～8本の人では1.9倍に、歯が1本もない人では2.4倍にまで上昇していました。

歯周病や歯の欠損と食道がんの関係を調査した米ハーバード大の大規模な研究があります。なお、食道がんはアルコールで増えるがんの代表で、5年生存率は40%にとどまるなど、酒好きの私にとっても非常に気になるがんです。

同大の研究グループは、女性の看護師5万人と男性の医療従事者10万人を20年以上追跡しました。その結果、歯周病も歯の欠損もないグループに比べ、歯周病はないが、歯の欠

損があるグループでは39%食道がんのリスクが上がっていました。歯周病があるグループでは、歯の欠損の有無に関係なく、59%もリスクが高まることが明らかになりました。

年齢や追跡期間、糖尿病の有無などの因子も考慮して解析した結果、歯周病は食道がんのリスクを全体で43%上昇させると結論づけています。

歯磨きをして、歯の数を保つことで、口の中のがんや食道がんを減らせる理由は十分に分かってはいませんが、口腔内の細菌が関係しているようです。

プラーク（歯垢）は食べカスではなく、細菌の塊で、プラーク1mgには10億もの細菌がひしめいています。こうした細菌の中には、発がん物質であるアセトアルデヒドを作るものがあるため、口の中を清潔にすることはがん予防の点でも大切です。

がんの治療でも、口腔内の清潔はプラスになります。たとえば、抗がん剤の影響で免疫力が低下すると、虫歯や歯周病も悪化しますから、治療の前に十分な口腔ケアを行うことが必要となります。

また、虫歯を放置したまま放射線治療を行うと、顎の骨に炎症が起こるなどの副作用が出やすくなります。照射後の抜歯は難しいことも多く、治療の前に虫歯を抜いておくことが必要となります。これでは治療の開始が遅れますし、治療後の摂食にも影響が出ますから、最近では、事前に歯科を受診してもらうのが常識になっています。

歯の数が多いほど認知症も転倒の頻度も少なくなるというデータもあります。厚生労働省と日本歯科医師会も健康長寿のための「8020（ハチマルニイマル）運動」を進めています。「80歳になっても20本以上自分の歯を保とう」というものです。

私も8020をぜひ達成したいと、毎食後、歯を磨いています。

放射線道場の喫茶室  
第8回

万華鏡で覗いた放射線量  
鴻 知己



万華鏡のことを英語でkaleidoscopeという。駄洒落の織り込みで恐縮だが物事の“華麗なる様々な様相”を見せてくれる“楽しい覗き単眼鏡”である。

- A. 線量の字義は“放射線の量”であるが、放射線物理学では“線量”と“放射線の量”は別物である。
- B. “線量”のことを英語でもフランス語でも“dose”というが、フランス語での名詞の性は女性とされている。
- C. “線量”のことを中国語では“剂量”という。
- D. “dose”は薬学の世界でも使用されているが、こちらでは“用量”が定訳となっている。
- E. “線量”は本来、放射線が物質・物体(物質系)に及ぼす影響を扱う科学において“因果関係”記述のために用いる“(原)因の量”として導入されたものである。
- F. “線量”として最初に使われた物理量は“(空気についての)電離能”であった。
- G. 空気の電離能で定義されるdoseをICRUでは“exposure”の名称を与え、“dose”には含めていない。
- H. ICRUとはInternational Commission on Radiation Units and Measurementsのことで、兄弟委員会\*といえるICRP(International Commission on Radiological Protection)と

共に、1925年に開かれたICR(=International Congress of Radiology:国際放射線医学会議)で設立されたことに端を発している。両者の日本での定訳は「国際放射線単位・測定委員会」と「国際放射線防護委員会」であるが、前者の放射線は“Radiation”、後者のそれは“Radiological”である。要するに、“ヒトの命”に係る“放射線防護の体系”は“放射線計量のシステム”と“被曝制限のシステム”という2つのサブシステムから作り上げられているということである。

- I. 先の大戦(WWII)後、基本線量の物理量を“電気”から“エネルギー”に変え、dosimetryの体系をエネルギー一元論に立脚させた。主導権がドイツからイギリスに移ったと印象付けられるできごとであるが、線量を規定する物質に(共に不変物質の代表とされる)空気と水のどちらを使うかについて、英独のスタンスの違いは長らく続いている(air-kerma, Ionen Dosis, etc.)。
- J. 吸収線量は“エネルギー付与の空間密度”であり、線量率はその時間微分である。
- K. 線量率は“出力( $W=J/s$ )”の“空間密度”である。
- L. “線量率”は“作用のintensity(強度)”、“線量”は“作用のpower(能力)”である。
- M. “線量”も“線量率”も時間を指定しなければ値を確定できない(両者とも、測定にはなにがしかの時間を必要とする)。
- N. 秒線量が常に分線量の1/60に等しくなるとは限らず、時間線量の60倍になるとは限らない。

\*委員会に当たる英語committeeとcommissionに相当するフランス語とドイツ語の性はそれぞれ(中性/男性)と(女性/女性)であるので前者なら“兄弟委員会”、後者なら“姉妹委員会”と書くのが望ましいと考える。

- O. 線量率が（時間に依らず）一定であると保証されるところには、秒線量から年線量に換算するのに“1 year =  $\pi \times 10^7$  seconds”を使うと便利である。
- P. 物理量である吸収線量の次元は“速度の2乗” (km/s)<sup>2</sup>である。
- Q. “電気量”や“エネルギー量”以外の“物理量”として“エントロピー”を使う案も提案されたことがある（ドイツのHaeder）。測定学的には“電気量”に勝るものはないといってよく、概念規定にエネルギーを使っても定量の手段に“電磁作用”を利用するのが普通である。被曝線量の大きさを熱として感知できるのは、急性致死量を遙かに超えた場合である。
- R. “実効線量”は線量を“リスクの表現体”として使用したいという願望から生まれたものである。
- S. “RBE線量”は“実効線量”の前身である。
- T. “カーマ (kerma)”は、“電荷線量”から“エネルギー線量”への切り替え過程において、光子線の“照射線量”と中性子線の“衝突線量”を統合して作られた“エネルギー線量”である。
- U. 放射線により物質系に付与されるエネルギーの殆どは熱（や光）に変えられ消滅する。真の意味での“吸収”は“物質系の内部エネルギーの変化”に消費されたものといえるが、ICRUの体系では、わざわざそれを除外してある。現行システムでいう“エネルギー吸収”とは「運動エネルギーを付与された荷電粒子が物質系内で局所的に生成する電離に消費されたもの」であり、放射線計量の体系はこの解釈をベースに組み立てられたものである。
- V. 吸収線量の概念規定は巨視的物理量としてのものである。すなわち、微小領域についての“エネルギー吸収密度”であるが、その領域は、その内部では放射線の場合が“均質・一様”と見做せるほどに十分小さく、かつ、その時空領域内ではエネルギー授受に係る事象の生起数が、線量値の評価が平均値として容易に確定できる程に十分大であること、を要求しているのである。
- W. 量の計量には“加算性 (additivity)”の保証を要求されるが、これは“放射線影響学”における“LNTモデル”（線形無閾値模型）に呼応するものである。影響と防護は学問としては別物であるが、もちろん関係性は深い。
- X. “dose equivalent”は、英国のD先生がPubで鉛筆なめなめ考え出したもの、と昔英国の知人に聞いたことがある。ドイツやロシアでは“Equivalent Dose”のように訳したが、われわれ日本人も複数形をどう書いたらよいか分からず頭を抱えたことであつた。
- Y. 日本（の放射線審議会）が導入した「1 cm線量当量」は、ICRUの提唱した実用線量 (operational dose) の考えを受け入れたものであるが、当のICRUでは当時のA委員長（フランス）が2 cmを強く主張したため決定に長時間（1年）を要したのであつた。
- Z. ICRUとICRPの設立時の名称は今日のものとは違っているが、そのどちらにも、日本人がnominateされていた。ICRUには東大（東京帝国大学）物理学科の西川正治教授、ICRPには同じく医学科の中泉正徳教授である。
- 前者はKEK 2代目所長西川哲司先生のご尊父、後者は放射線科の初代教授である。哲治先生のお話では正治先生はICRUの会議に出かけたことはなかったのではないかとのことでした。

# 図説 量子ビーム・放射線利用

## - 第10回 放射線測定は考古学である(その2) -

大洗研究所 特別研究員 岡田 漱平

### 1. はじめに

シリーズ前回 (FBNews No.528) に引き続き、多岐にわたる放射線測定技術の基本原則を共通のテンプレート (図7) を用いて説明してみたい。なお、図表の番号は、前回からの通し番号とする。説明は、今回分だけでも読み切りができるよう一部前回と重複するが、細かな点は前回は参照願いたい。

測定プロセスの各パーツは、モジュール化されてテンプレートの中に収められているので、以下では、各種の測定原理をモジュールの組み合わせとして説明していく。図表の中の①、②、③・・・⑧は図7の各モジュールに相当する。

### 2. 放射線測定体系を動作原理で分類する

放射線測定 (放射線場を測定する放射線計測及び線量を計測・定量する線量測定) の分類の仕方はいろいろあるが、ここでは「動作原理による分類」を行うことにする (表5)。

この分類中、既に以前のFBNewsで説明した項目もある。今回は、限られた紙面とレイアウトの関係から、表中の\*3、\*4、\*7について説明する。

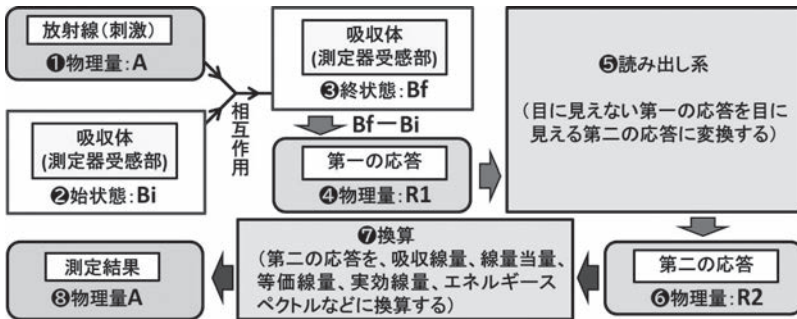


図7 個々の放射線測定プロセスの原理を放射線測定体系全体に共通の考え方で説明するテンプレート(前回では考古学に譬えた)。

表5 放射線測定器の動作原理による分類。

大分類	中・小分類	放射線測定器(放射線計測器・線量計)例
気体電離電荷収集型(*1)	—	電離箱、比例計数管、GM 計数管
固体電離電荷収集型(*2)	半導体素材中電離利用タイプ	Si 半導体検出器、拡散接合型半導体検出器、Liドリフト型半導体検出器、表面障壁型半導体検出器、高純度 Ge 半導体検出器、PN 型 PD(フォトダイオード)、PIN 型 PD、アバランシェ PD
	半導体デバイス特性利用タイプ	MOSFET 線量計、DIS 線量計
放射線化学反応型	電子・正孔対生成タイプ(*3)	無機シンチレータ、蛍光ガラス線量計、OSL 線量計、熱蛍光線量計
	電子励起タイプ(*4)	有機シンチレータ
	化学反応タイプ(*5)	フリック線量計、セリウム線量計、アラニン線量計、ポリエチレン線量計(ラザフォード線量計)、ポリマーゲル線量計、固体飛跡検出器
熱力学型(*6)	—	熱量計(カロリメータ)、霧箱、泡箱
飛翔電荷検出型(*7)	—	ファラデーカップ、チェレンコフカウンター
二次元位置敏感検出器(*8)	—	フィルム・乾板、イメージングプレート(IP)、フラットパネルディテクタ(FPD)、イメージンテンシファイア(I.I.)、プラスチックシンチレータ位置敏感検出器

(\*1,\*2)本シリーズ前回(第9回;FBNews No.528)参照。(\*3,\*4,\*7)今回分。(\*5,\*6)次回分。(\*8)本シリーズ第5回(FBNews No.515)参照。



### 3. 放射線化学反応型の電子・正孔対生成タイプと電子励起タイプの測定器

電子・正孔対生成タイプでは、価電子帯と伝導帯の間に中間的なエネルギー単位の捕獲サイトがあり、放射線によって生成した電子・正孔対がこれと反応し、最終的に発光に至る現象を利用する。このタイプには無機シンチレータ

レータ(図8・9、表6)及びルミネッセンス線量計(蛍光ガラス線量計、OSL線量計、熱蛍光線量計:図10・11・9、表7)がある。

また、電子励起タイプでは、放射線によって電子が基底状態から励起状態へ励起された後、エネルギー単位間で遷移することによって起こる発光現象を利用する。このタイプには有機シンチレータ(図8・9、表6)がある。

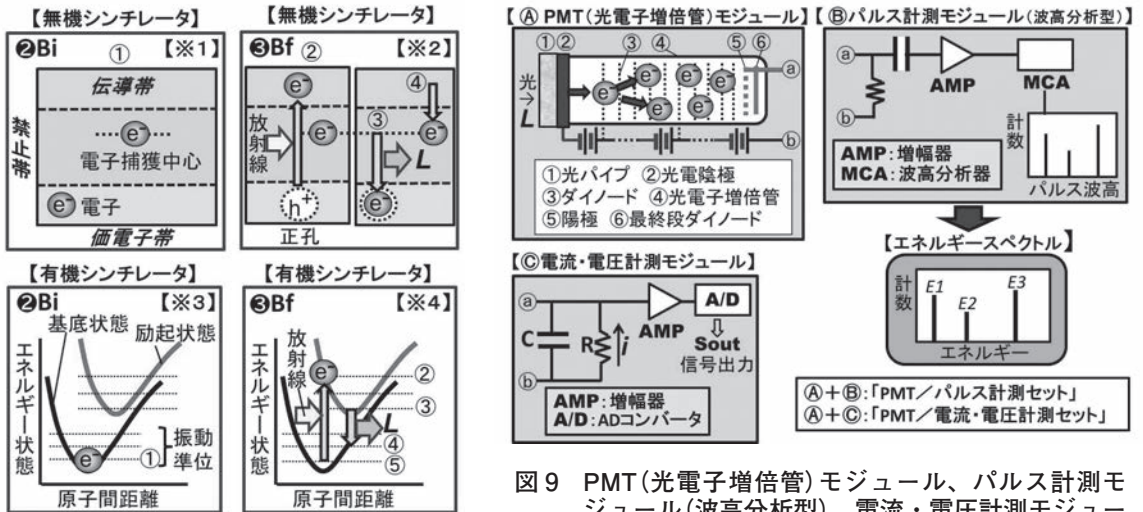


図8 シンチレータの発光の原理のイメージ図。

図9 PMT(光電子増倍管)モジュール、パルス計測モジュール(波高分析型)、電流・電圧計測モジュールの模式図。

表6 シンチレータにおける各モジュールの機能。

測定器名	シンチレータ【図8及び図9参照】	対象放射線	X, γ, β, α, n
①	A=E(量子エネルギー)& N(量子個数) (入射量子の種類別にそれぞれ)		
②	《無機シンチレータ》 【※1】NaI(Tl), CsI(Tl), ZnS(Ag), BGO(Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> ), LiI(Eu)など。 【※1】①e <sup>-</sup> (価電子)+ e <sup>-</sup> (捕獲電子) 《有機シンチレータ》 【※3】固体:アントラセン、スチルベン、プラスチックなど 液体:ターフェニルやディフェニルオキサゾールなどの発光物質をトルエン、キシレンなどの溶媒に溶かしたもの(水素を多量に含むので高速中性子に対して高検出効率)。 【※3】①電子基底状態		
③	《無機シンチレータ》 【※2】④(放射線)→②h <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> (伝導電子)+e <sup>-</sup> (捕獲電子)→③h <sup>+</sup> +e <sup>-</sup> (捕獲電子)→e <sup>-</sup> (価電子)+発光(L)→④e <sup>-</sup> (伝導電子)→e <sup>-</sup> (捕獲電子)→①に戻る 《有機シンチレータ》 【※4】④(放射線)→②電子励起状態→(熱放出)→③励起状態の低振動準位→発光(L)→④基底状態の高振動準位→(熱放出)→⑤(もとの基底状態);電子遷移は原子間距離を変えないように垂直に起こる(Frank-Condonの原理) 【有機シンチレータの場合は「電子・正孔対生成タイプ」ではなく「電子励起タイプ」】		
④	《無機シンチレータ》R1=M(電子・正孔対数)∞L(即発蛍光量)& C <sub>e</sub> (発光回数)(各種量の量子に対してそれぞれ) 《有機シンチレータ》R1=M(励起電子数)∞L(即発蛍光量)& C <sub>e</sub> (発光回数)(各種量の量子に対してそれぞれ)		
⑤	PMT/パルス計測セット【①PMT(光電子増倍管)モジュール+②パルス計測モジュール(波高分析型)】(図9)		
⑥	R2=[Hp(パルス波高) vs. Cp(パルス計数)]		
⑦	[Ei vs. Ni]∞ [Lv vs. C <sub>e</sub> ]∞ [Hp vs. Cp] (Ei∞N∞L) (L∞Hp) (入射量子の種類別にそれぞれ)		
⑧	エネルギースペクトル [Ei vs. Ni]		

◆Ei(量子エネルギー):入射放射線の1個の量子が最初に持っていた運動エネルギー。

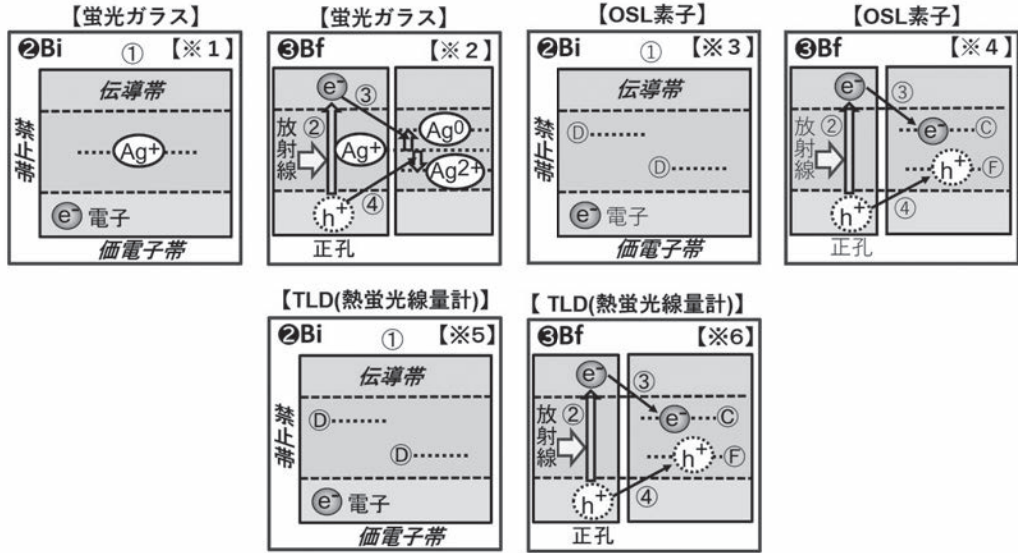


図10 ルミネッセンス線量計の発光中心形成のイメージ図。

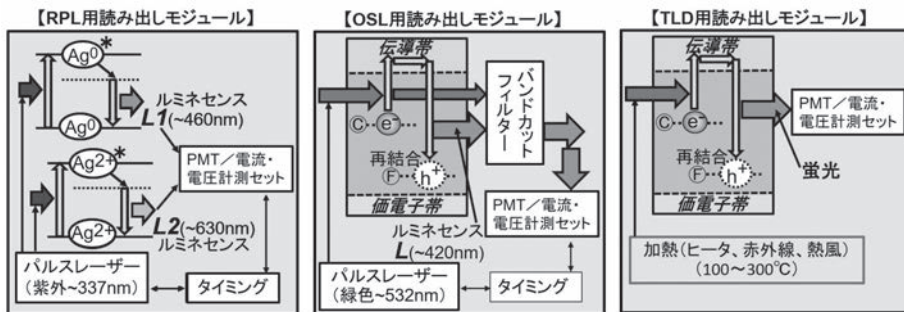


図11 ルミネッセンス線量計の発光読み出し系の模式図。

表7 ルミネッセンス線量計における各モジュールの機能。

測定器名	ルミネッセンス線量計【図10, 11及び図9参照】	対象放射線	X、γ、β【特に適合する放射線がある場合は文中の( )内に記載】
①	A=ΔE (吸収エネルギー)		
②	《蛍光ガラス線量計(RPL: Radio-Photo-Luminescence 線量計)》 【※1】①銀活性リン酸塩ガラス(PO <sub>4</sub> +Ag <sup>+</sup> ) 《OSL線量計(Optically Stimulated Luminescence 線量計)》 【※3】①◆炭素添加 α 酸化アルミニウム(α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C)◆禁止帯に格子欠陥や不純物の準位(D)が存在。 《熱蛍光線量計(TLD: Thermo-Luminescence Dosimeter)》 【※5】①◆LiF, CaF <sub>2</sub> , CaSO <sub>4</sub> :Tm, Mg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :Tb, BeO, Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> :Cu など。◆ <sup>6</sup> Li や <sup>10</sup> B は(n, α)反応により荷電粒子である α を放出するので、 <sup>6</sup> Li や <sup>10</sup> B を使った素子と、熱中性子に不感な <sup>7</sup> Li や <sup>11</sup> B を使った素子の発光量の差によって熱中性子に対する線量がわかる。◆禁止帯に格子欠陥や不純物の準位(D)が存在。(X、γ、β、n)		
③	《蛍光ガラス線量計(RPL: Radio-Photo-Luminescence 線量計)》 【※2】①(放射線)→②h <sup>+</sup> +e <sup>-</sup> +PO <sub>4</sub> +Ag <sup>+</sup> →③e <sup>-</sup> +Ag <sup>+</sup> →Ag <sup>0</sup> および④h <sup>+</sup> +PO <sub>4</sub> +Ag <sup>+</sup> →PO <sub>4</sub> +Ag <sup>2+</sup> 《OSL線量計(Optically Stimulated Luminescence 線量計)》 【※4】①(放射線)→②h <sup>+</sup> +e <sup>-</sup> →③e <sup>-</sup> (伝導帯)→e <sup>-</sup> (捕獲中心C)→④h <sup>+</sup> (価電子帯)→h <sup>+</sup> (蛍光中心F) 《熱蛍光線量計(TLD: Thermo-Luminescence Dosimeter)》 【※6】①(放射線)→②h <sup>+</sup> +e <sup>-</sup> →③e <sup>-</sup> (伝導帯)→e <sup>-</sup> (捕獲中心C)→④h <sup>+</sup> (価電子帯)→h <sup>+</sup> (蛍光中心F)		
④	《蛍光ガラス線量計》R1=N(電子・正孔対数)∝{C(Ag <sup>0</sup> )+C(Ag <sup>2+</sup> )} (C:濃度) 《OSL線量計》R1=N(電子・正孔対数)∝C(捕獲中心Cと蛍光中心Fの濃度) 《熱蛍光線量計》R1=N(電子・正孔対数)∝C(捕獲中心Cと蛍光中心Fの濃度)		

⑤	パルスレーザー(蛍光ガラス線量計、OSL線量計)あるいは加熱(熱蛍光線量計)の刺激に対する応答として発光を誘発し(図11)、これをPMT/電流・電圧計測セット[④PMT(光電子増倍管)モジュール+③電流・電圧計測モジュール(波高分析型)](図9)で計測する。
⑥	$R2 = S_{out}$ (電流・電圧計測モジュールの信号出力)
⑦	《蛍光ガラス線量計》 $\Delta E \propto N \propto \{C(Ag^0) + C(Ag^{2+})\} \propto (L1 + L2) \propto S_{out}$ 、《OSL線量計》、《熱蛍光線量計》 $\Delta E \propto N \propto C \propto L \propto S_{out}$ 《共通》 $D = \Delta E \times$ 換算係数、 $H_p(d) = D \times$ 換算係数 $\times$ 校正定数 $H_p(d)$ から防護量である等価線量 $H_t$ 及び実効線量 $E$ は 法令に対応した換算措置を行う。
⑧	吸収線量 $D$ 、 $H_p(d)$ 、等価線量 $H_t$ 、実効線量 $E$

- ◆  $H_p(d)$ : 個人線量当量;  $d=10mm$  のとき「1cm 線量当量」という。他に  $d=3mm, 70\mu m$ 。これらは測定可能な「実用量」とされている。吸収線量等から実用量を求めるには入射量子のエネルギー値を使って換算を行う。エネルギー値が既知でない場合はなんらかの近似が必要である。
- ◆ 校正定数等: [装置に固有の補正係数]  $\times$  [標準またはリファレンスに対する校正定数]。
- ◆ 換算係数: 線量を 1cm 線量当量などの実用量に換算するための定数。換算の際の線量としては照射線量、空気カーマ、吸収線量があるが、本稿では記述を簡単化するために吸収線量  $D$  で代表させている。

表 8 チェレンコフカウンターとファラデーカップにおける各モジュールの機能。

測定器名	チェレンコフカウンター【図12参照】	対象放射線	高速荷電粒子
①	$A = Ei$ (入射エネルギー)		
②	【※1】屈折率 $n$ の誘電体。		
③	【※2】非常に高エネルギーの荷電粒子(速度 $v > c/n$ ) が誘電体に入射すると、高速荷電粒子の電磁場により分極が生じる( $c$ は真空中の光の速度)。 【※3】分極した原子・分子が元の状態に戻る時に放出される光が重なり増幅される(チェレンコフ光)。入射粒子とチェレンコフ光のなす角度 $\theta$ と粒子速度 $v$ の間には $\cos\theta = c/nv$ という関係があり、これから粒子のエネルギーがわかる。		
④	$R1 = \theta$		
⑤	2次元光検出モジュール: フォトダイオード(PD)の2次元アレイで光が入射した角度と入射しなかった角度を弁別し、 $\theta$ を知る。		
⑥	$R2 = \theta$ を示す2次元画像		
⑦	$Ei \Leftarrow$ 粒子速度 $v = \lceil \cos\theta = c/nv \rceil \Leftarrow \theta$ (複数種類の粒子場で $\theta$ の違いで粒子の弁別が可能)		
⑧	入射エネルギー $Ei$ 、粒子の弁別		

測定器名	ファラデーカップ【図12及び図9参照】	対象放射線	荷電粒子
①	$A = \phi$ (入射量子のフルエンス)		
②	【※4】◆入射荷電粒子を逃がさず捉えるため、入射方向の厚さ $l$ が荷電粒子の飛程より十分大きい電導体のカップを設ける。◆荷電粒子に由来する電荷を正確に測るため、カップで発生した二次電子が再びカップに戻るよう、カップの深さ $L$ は、カップの内径 $D$ より十分大きくするとともに、-100V 程度に電圧を印加したサブレッサーを設ける。		
③	【※5】◆スリットでビーム径を制限された荷電粒子ビームの電荷を計測する。◆発生した二次電子は、カップが十分に深いため、またサブレッサーで追い返されるため、再びカップに戻り、電荷の増減には関与しない。		
④	$R1 =$ 集荷された入射粒子の電荷 $Q$		
⑤	電流・電圧計測モジュール(図9)		
⑥	$R2 = i$ or $R2 = V (=Ri)$ (図9)		
⑦	$\phi = Q/(aZe) \Leftarrow Q = CV (= \int idt) \Leftarrow V(i)$ ( $Z$ : 入射粒子の価数、 $e$ : 素電荷)		
⑧	$\phi$ (入射量子のフルエンス)		

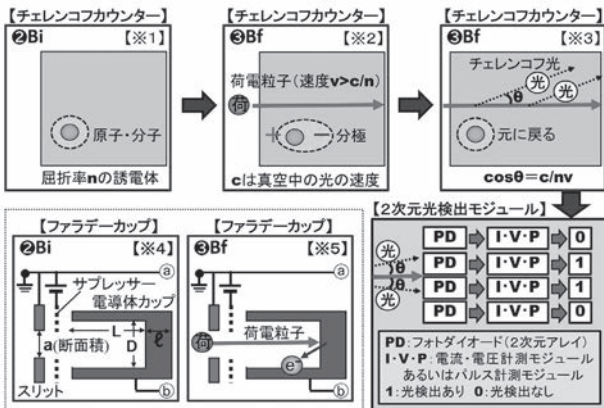


図12 チェレンコフカウンターとファラデーカップの動作原理のイメージ図。

#### 4. 飛翔電荷検出型の測定器

この型には、チェレンコフカウンターとファラデーカップがある(図12・9、表8)。

<この稿続く>

サービス部門からのお願い

## ご使用者の変更連絡はお早めに

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。  
 年度替わりは、他の時期に比べて、ガラスバッジご使用者の変更手続きを多く受付けて  
 おります。そのため、手続き完了までにお時間をいただく場合がございます。  
 ガラスバッジご使用者に変更がございましたら、お早めにご連絡くださいますようお願い  
 申し上げます。

なお、ガラスバッジご使用者の変更は、「[ガラスバッジWebサービス](https://www.c-technol.co.jp/)」からお手続きが  
 可能です。(https://www.c-technol.co.jp/)「ガラスバッジWebサービス」の入力操作  
 に関するお問合せは、弊社 線量計測事業本部 (☒gbweb-toiwase@c-technol.co.jp)  
 までお願いいたします。

**\* 「ご使用者変更連絡票」はこちらまで・  
 測定センター フリーダイヤルFAX：0120-995-204**

## 編集後記

- 巻頭は弊社代表取締役会長兼社長の細田敏和が「東日本大震災から10年」と称して、当時の振り返りとガラスバッジについて記しています。悪夢のような大津波の犠牲になられた方々に、改めて謹んでご冥福をお祈りいたします。弊社業務の社会的責任を理解していただいていた大洗町のご支援のおかげで、大洗町にあるラディエーションモニタリングセンター（RMC）が、早期に操業再開出来た事は、その後の住民向けガラスバッジ（市民線量計）や、帰還住民用線量計D-シャトルの継続的なサービスに繋がりました。日頃からCSR経営の実践と、会社・社会の永続的な発展を経営理念に掲げてきた事が、震災復興の第一歩となる礎として、被災者の皆様に安全・安心の一端を提供する事が出来たのではないのでしょうか。
- 青森県立中央病院整形外科診療部門長の伊藤淳二先生に、整形外科領域での職業被ばくに対する取り組みを具体例を挙げてご説明いただきました。照射野に手を入れた治療の為、手指が直接被ばくしてしまう。術者の習熟度だけでなく、低侵襲手術の普及が、放射線透視化での直接作業を増加させている現実を報告されました。本年4月からの水晶体被ばく限度の見直しを契機に、放射線防護の基  
 本に立ち返り、改めて周知、啓発するという、力強い報告がありました。医療関係者のご尽力に応えられる機器の提供は、私たちの役目です。
- 東京大学医学部付属病院 中川恵一先生のコラムは、一読者として毎号楽しみに拝見しています。菌周病や菌の欠損、そして大好きなアルコールが食道がんの発症率に影響するとの報告は、大いに気になるところです。筆者は「時すでに遅し」の感は否めませんが、せめて、今後の口腔ケアの為にも毎食後の歯磨きは、先生に負けまいと頑張りたいです。
- 弊社大洗研究所の岡田淑平特別研究員より連載第10回として「放射化学反応型（無機・有機シンチレータ等）」と、「飛翔電荷検出器（チェレンコフ・ファラディカップ等）」について、各モジュールの機能について詳細な図解で説明していただきました。遺跡の埋蔵物（放射線と言う「刺激」に対して検出器である吸収体が「応答」する）を発掘調査する。これを分析する事によって、過去の出来事（放射線の物理量に相当）を推定する。なるほど、放射線計測は考古学です。

(原 明)

## FBNews No.531

発行日/2021年3月1日

発行人/細田敏和

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 原明

五十嵐仁 藤森昭彦 高橋英典 中本由季 廣田盛一

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)