



Photo Masaki Abe

Index

電気協会技術指針「放射線モニタリング指針 (JEAG4606)」 の改定について……………井上 英彦・沼端 隆紀	1
サイバーナイフの進化と適応拡大……………塚本 信宏	6
[泉涓涓として…] 原子力艦事始め (その2) ……………青山 伸	11
[D-シャトルの開発の経緯と今について]……………大口 裕之	12
[書籍紹介] 「福島へのメッセージ 放射線を怖れないで！」……………	17
平成29年度放射線安全取扱部会年次大会 (第58回放射線管理研修会)……………	18
[サービス部門からのお願い] 測定依頼票が見当たらないときは…?……………	19

電気協会技術指針「放射線モニタリング指針 (JEAG4606)」の改定について

井上 英彦*1、沼端 隆紀*2

1. はじめに

本年(平成29年)3月、一般社団法人日本電気協会の電気協会技術指針(JEAG、Japan Electric Association Guide)のひとつである「放射線モニタリング指針」(JEAG4606、以下「本指針」という。))の第5回改定を行った。本指針は従来の名称を「原子力発電所 放射線モニタリング指針」といい、原子力発電所(以下「発電所」という。)を適用範囲としていたが、今回の改定で使用済燃料の再処理施設(以下「再処理施設」という。)を追加し、名称を変更するとともに平成25年7月に施行された新規制基準に係る記載を追加する等、最新の知見を反映した。

筆者は、日本電気協会 原子力規格委員会 放射線管理分科会に設置された検討会のメンバーとして今回の改定原案作成に参画する機会を得た。本稿では、本指針の概要及び今回の改定ポイント等について紹介する。

2. 本指針の改定について

2.1 放射線モニタリング指針(JEAG4606)の制定

発電所及び再処理施設における放射線防護の基本方針は、施設内で働く放射線業務従事者及び管理区域に一時的に立ち入る者並びに一般公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低くするように運転を管理し、かつ必要な対策をとることである。

わが国の発電所における放射線計測に関する技術基準は「発電用原子力設備に関する技術基準」(通商産業省令第62号)に定められているが、発電所の放射線モニタリングについて具体的な技術的細目を整備するため、昭和51年1月に本指針が制定された。

2.2 本指針の改定経緯

日本電気協会 原子力規格委員会の規約において、各規格は5年毎に全面的なレビューを行うこととされており、その結果、改定が必要と判断されて実施されたのはこれまでに5回を数える。改定第1版(昭和62年11月)は、国の指針が順次整備され、技術の進歩、運転経験の蓄積に対応したもの。改定第2版(平成2年5月)は、平成元年4月に施行された改正法令及びこれに基づく関連指針の改定の内容を反映したもの。改定第3版(平成8年10月)は、国内の全てのPWRにおいて高感度型主蒸気管モニタが設置運用されたことを反映した。更に、改定第4版(平成15年5月)は、国際放射線防護委員会1990年勧告(ICRP Publication 60)の法令取入れや原子力災害対策特別措置法の制定などを考慮して改定した。

今回の第5回改定では、従来は発電所のみとしていた対象を再処理施設まで拡大し、福島第一原子力発電所事故を踏まえ、新規制基準が施行されたことなどを考慮した。

主な改定事項を以下に示す。

- ・平成25年7月に原子力規制委員会の新規制基準が施行されたことに伴い、モニタリングポストの電源対策、代替設備としての可搬型モニタリングポストの配備等適合性審査の状況を考慮した事項を記載した。
- ・緊急時環境放射線モニタリングに関する事項は、「原子力災害対策指針(原子力規制委員会)」と整合を図った。
- ・適用範囲として再処理施設を追加した。これに伴い指針名称を「原子力発電所 放射線モニタリング指針」から変更した。
- ・関係法令、関係指針類及びJISを最新化し、参考文献を追加した。

*1 Hidehiko INOUE 中部電力株式会社 原子力本部

*2 Takanori NUMAHATA 日本原燃株式会社 濃縮事業部

原子力部 運営グループ 課長

安全管理部 放射線管理課 副長

改定原案の作成は、「放射線モニタリング指針検討会」にて行い、約4年間「放射線管理分科会」の確認を受けながら22回検討会を開催した。平成28年8月に分科会にて改定案が承認され、原子力規格委員会の承認後、平成29年1月から約2ヶ月の公衆審査を経て、本年3月に改定となった。

2.3 今回の改定ポイント

適用範囲に再処理施設を追加し、名称から「原子力発電所」を削除し、「放射線モニタリング指針」に変更した。当初は燃料加工施設に関しても検討したが、現状の必要性の観点から再処理施設のみを追加することとした。

再処理施設を加える方法としては、①発電所と再処理施設の記載を融合させて区分けしない、②各章の中で両者を分離して記載する、③両者を章で分離する、の3種類から検討し、共通性のある内容は①または②、設計や管理の異なる内容は③を採用した結果、再処理に係る2つの章を追加した。(表1)

(1) 序論

「目的」及び「適用範囲」に再処理施設を追加し、序論の解説に付記していた「放射線モニタリング関係図」は再処理施設のものを追加した(図1)。

なお、「放射線モニタリング関係図」に記載の個人線量モニタリングについては「個人線量モニタリング指針」(JEAG4610)に定められている。

(2) 関連法規等

全体をレビューし、最新の改正日等を反映するとともに、再処理施設関連の法令を追加した。また、新規規制基準の施行に伴う法令、原子力災害対策特別措置法関連法令、気象業務法等について改めて整理を行い、関係指針類及びJISの最新化を行った。

(3) プロセス放射線モニタリング(発電所)

平常時の気体・液体放射性廃棄物の環境への放出及び発電所の運転状態を監視するプロセス放射線モニタリング(発電所)について以下の記載を追加した。

・「事故時」には、「実用発電用原

子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」でいうところの重大事故等が含まれること。

- ・プロセス放射線モニタによる測定では、必要な機能を満たすことができる場合には可搬型の設

表1 放射線モニタリング指針の構成

章番号	タイトル	適用範囲
1	序論	発電所及び再処理施設
2	関連法規等	発電所及び再処理施設
3	プロセス放射線モニタリング(発電所)	発電所
4	エリア放射線モニタリング(発電所)	発電所
5	放出管理モニタリング(再処理施設)	再処理施設
6	管理区域内放射線モニタリング(再処理施設)	再処理施設
7	周辺監視区域境界近傍放射線モニタリング	発電所及び再処理施設
8	環境放射線モニタリング	発電所及び再処理施設
9	校正及び点検	発電所及び再処理施設

(第5、6章を今回改定により追加)

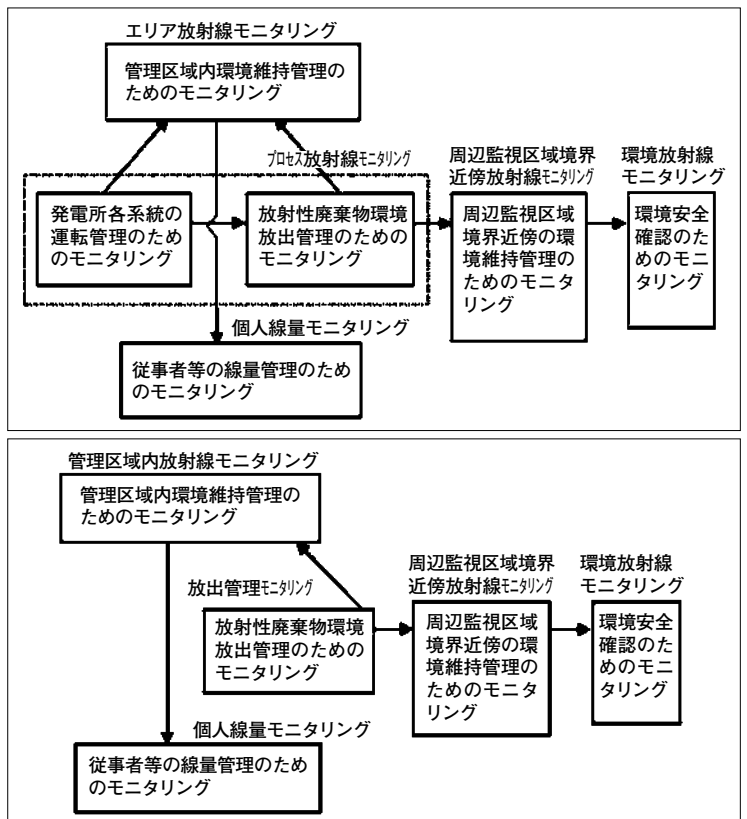


図1 放射線モニタリング関係図 (上: 発電所、下: 再処理施設)

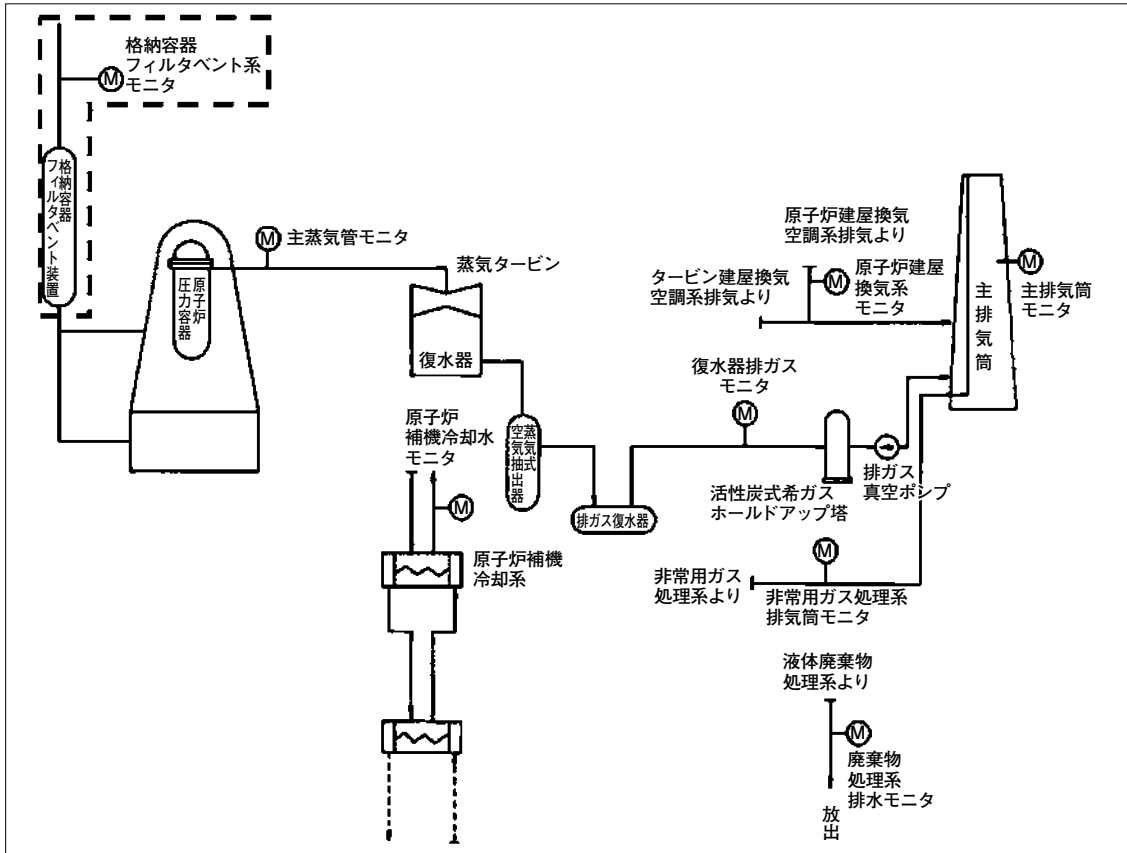


図2 BWRプロセス放射線モニタ説明図の例

備を使用してもよいこと。

- ・プロセス放射線モニタを設置し測定する系統として、「重大事故等時に水素ガスを原子炉格納容器外に排出する系統」(図2)。
- ・指示・記録を行う場所及び警報表示を設ける場所として、「その他当該情報を伝達する必要がある場所」。
- ・電源について、重大事故等時の監視用として設置されるプロセス放射線モニタは、代替電源等から給電可能な設計とすること。
- ・耐震設計について、重大事故等時の監視用として設置されるプロセス放射線モニタは、基準地震動による地震力に対して必要な機能が損なわれるおそれがないこと。

また、事故時におけるサンプリング測定の記載については、「発電用軽水型原子炉施設における事故時の放射線計測に関する審査指針」(以下「事故時計測指針」という。)と、サンプリング測定に用いる計測装置については、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」

(以下「測定指針」という。)との整合を図り、「原子力災害対策特別措置法施行令」の改正に伴い通報基準等の記載を見直した。

(4) エリア放射線モニタリング(発電所)

管理区域内等の人立ち入る場所における放射線環境の状況を把握するエリア放射線モニタリング(発電所)について以下の記載を追加した。

- ・事故時のエリア放射線モニタの設置場所について、重大事故等時における使用済燃料貯蔵槽の状況把握のために、使用済燃料貯蔵槽上部の空間ガンマ線量率を測定できる場所に設置すること。
- ・事故時におけるエリア放射線モニタは、必要な機能を満たすことができる場合には可搬型の設備を使用してもよいこと。
- ・測定範囲の考え方について、重大事故等時用のエリア放射線モニタは重大事故等時に変動する可能性のある範囲を測定可能な設計とすること。
- ・指示・記録を行う場所及び警報表示を設ける場所として、「その他当該情報を伝達する必要がある場所」。

- ・重大事故等時の使用済燃料貯蔵槽の空間ガンマ線量率の測定に常設のエリア放射線モニタを用いる場合には、事故時のエリア放射線モニタに求められている条件に準じた設計とすること。
- ・電源について、重大事故等時の計測装置は代替電源等から給電可能な設計とすること。

また、「原子力災害対策特別措置法に基づき原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する規則」の制定・改正に伴い、炉心の損傷に関する原子力緊急事態宣言の判断基準の記載を見直した。

(5) 放出管理モニタリング（再処理施設）

平常時の放射性廃棄物の環境への放出を監視するため、「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「事業指定基準規則」という。）及び「再処理施設の性能に係る技術基準に関する規則」に基づくとともに、「測定指針」を参考に気体廃棄物及び液体廃棄物に含まれる放射性物質の濃度及び量を測定することを記載した。また、事故時（「事業指定基準規則」でいうところの重大事故等を含む。）に環境へ放出される気体廃棄物及び液体廃棄物中の放射性物質濃度を監視するため、「事業指定基準規則」及び「原子力災害対策特別措置法」に基づくとともに、「事故時計測指針」を参考に気体廃棄物及び液体廃棄物中の放射性物質濃度を測定することを記載した。

- ・平常時及び事故時に再処理施設の排気口から排気する気体中の放射性物質は、排気モニタにより連続的に放射性物質濃度を測定すること。また、サンプリング測定として連続的又は定期的に試料を回収して放射性物質濃度を測定すること。放射線計測装置に用いられる検出器は、放射性物質濃度、種類、環境条件、必要な測定下限濃度あるいは測定上限値などを考慮して選定すること。放射性希ガスを測定する検出器には、NaI (Tl) シンチレーション検出器、電離箱、プラスチックシンチレーション検出器、GM計数管等を用いること。
- ・平常時に管理区域から排水する系統に排水モニタを設置し、連続的に測定すること。また、サンプリング測定として、放出の都度又は定期的に排水のサンプリング及び分析により、排水中の放射性物質の種類別の濃度を測定すること。放射線計測装置に用いられる検出器は、放射性物質濃度、種類、環境条件、必要な測定下限濃度あるいは測定上限値などを考慮して選定すること。排水の放射性物質を測定する検出器には、NaI (Tl) シンチレーション検出器等を用いること。

(6) 管理区域内放射線モニタリング（再処理施設）

平常時の管理区域内において、通常人の立ち入る場所の放射線環境を適切に管理するため、「事業指定基準規則」に基づき、空間線量率、空気中の放射性物質濃度及び表面の放射性物質密度を測定・監視することを記載した。また、「事業指定基準規則」に基づき、事故時において使用済燃料貯蔵槽の空間線量率を測定することを記載した。

再処理施設の特徴として、アルファ線放出核種及び中性子線の管理が必要なことから、ダストモニタ及び中性子線エリアモニタ等により以下のとおり測定することを記載した。

- ・ダストモニタは、核分裂生成物とプルトニウムが混在している区域には、汚染管理及び被ばく管理の有効性を評価してアルファ線用ダストモニタ又はベータ線用ダストモニタを設置するか、あるいは併設すること。ダストモニタに用いる検出器としては、アルファ線を測定する検出器には、ZnS (Ag) シンチレーション検出器、半導体検出器等を用い、ベータ線を測定する検出器には、プラスチックシンチレーション検出器、半導体検出器等を用いること。
- ・エリアモニタは、取り扱う核燃料物質の種類、作業内容等により、中性子線の影響を考慮する必要がある場合は、ガンマ線エリアモニタと中性子線エリアモニタを併用設置すること。ただし、遮蔽物等によりガンマ線が減衰し中性子線で代表できる場所では、中性子線エリアモニタのみの設置とすることができること。中性子線エリアモニタに用いる検出器は、³He計数管、BF₃比例計数管等を用いること。
- ・空間線量率の測定で中性子線を測定する場合には、中性子用線量当量率サーベイメータを用いて測定すること。

(7) 周辺監視区域境界近傍放射線モニタリング

発電所又は再処理施設の周辺監視区域境界近傍における空間放射線量率、空間放射線量及び放射性物質濃度を測定する周辺監視区域境界近傍放射線モニタリングについて、以下の記載を追加した。

- ・モニタリングポストが機能喪失しても代替し得る十分な台数のモニタリングカーまたは可搬型代替モニタリング設備を配備すること。
- ・モニタリングポストの伝送・電源について、「伝送系は、多様性を有する設計」「非常用所内電源に接続された設計、若しくは無停電電源等により電源復旧までの期間を担保できる設計」「代替交流電源設備から給電可能な設計」とするこ

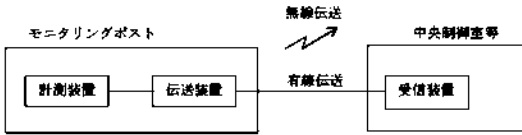


図3 モニタリングポストの伝送系多様性の例

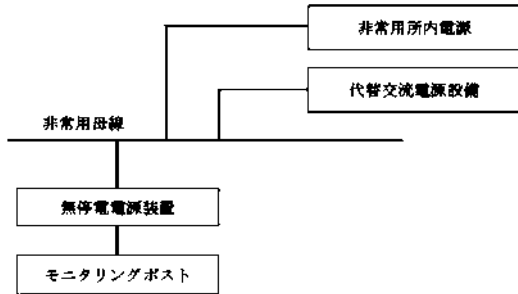


図4 モニタリングポストの電源対策の例

と。(図3、4)

- ・重大事故等時におけるバックグラウンド低減対策手段を検討しておくこと。
- ・サンプリング測定機器の故障や電源が喪失した場合に備え、一次電池や二次電池等で駆動する放射線計測装置を設けておくこと。
- ・モニタリングカーについて、事故時対応として備え付ける車両がモニタリングカーであること、事故時における通信手段の準備や燃料の備蓄を考慮すること。
- ・指示・記録を行う場所及び警報表示を設ける場所として、「その他当該情報を伝達する必要がある場所」。

また、「原子力災害対策特別措置法施行令」の改正に伴い通報基準等の記載を見直した。

(8) 環境放射線モニタリング

発電所又は再処理施設に起因する放射線による周辺住民等の線量が線量限度を十分に下回っていることを確認する環境放射線モニタリングについて、以下の記載を追加した。

- ・「原子力災害対策指針」に定める警戒事態が発生した場合には、平常時モニタリングを強化し緊急時モニタリングに備えること。
- ・施設敷地緊急事態が発生した場合には、国、地方公共団体、原子力事業者及び関係指定公共機関は、国が策定する緊急時モニタリング実施計画に基づいて緊急時モニタリングを実施すること。

また、平常時の代表的なモニタリングの調査内容等について、「環境放射線モニタリング指針」との整合を図った。

(9) その他

今回の指針改定にあたり参考とした文献として、「IEC 61031:1990, Design, location and application criteria for installed area gamma radiation dose rate monitoring equipment for use in nuclear power plants during normal operation and anticipated operational occurrences」を記載した。

その他に関係する指針等として、「原子力発電所の緊急時対策指針 (JEAG4102-2015)」「IEC/SC45B (放射線防護計測関連の規格) 及びIEC/SC45A (原子力施設関係計測制御関連の規格) の13規格」「米国原子力規制委員会 (NRC) のRegulatory Guide, Interim Staff Guidanceのうちプロセス・エリア放射線モニタに関するもの」について、反映すべき内容がないことを確認している。

3. おわりに

今回の指針改定は、新規制基準が施行されたことに伴うものに加えて、再処理施設への適用範囲の拡大等広範な知見を集めた大きなものとなった。発電所及び再処理施設の放射線モニタリング担当は、今後、本指針を傍らに業務を行い更なる改善を図り、次回改定時によりよいものができるように努めることとしたい。日本電気協会は規格改定に係るプロセスをできるだけ公開することとしており、指針改定検討の情報は同協会のホームページにおいて逐次確認することができる。本誌の読者各位からのご意見を頂戴できれば幸甚である。

謝辞

本指針の改定に関係した、日本電気協会の事務局、原子力規格委員会、放射線管理分科会及び放射線モニタリング指針検討会の関係各位に感謝の意を表します。

著者プロフィール

井上 英彦 (いのうえ ひでひこ)
 中部電力株式会社原子力本部原子力部運営グループ課長
 中部電力株式会社入社後、浜岡原子力発電所における放射線管理、化学管理業務をはじめ原子力発電関連業務に従事し、平成28年7月より現職。

沼端 隆紀 (ぬまはた たかのり)
 日本原燃株式会社濃縮事業部安全管理部放射線管理課副長
 旧日本原燃産業入社後、ウラン濃縮工場及び再処理工場等の放射線管理業務に従事し、平成29年3月より現職。

サイバーナイフの進化と適応拡大



塚本 信宏*

1. はじめに

ガンナイフの登場で、頭蓋内から始まった定位照射は、画像誘導、呼吸同期照射などの進歩により、肺・肝臓・前立腺など体幹部の治療に用いられるようになった。特にロボットアームに小型の放射線照射装置を載せた放射線治療装置であるサイバーナイフ (CyberKnife®) は、病変をリアルタイムに検出して、多方向からX線ビームを集中させることによって、効果的ながん治療を実施することが可能である。定位照射では、線量増加による根治性の改善に注目が集まることが多いが、周囲への線量低減による効果のため、少数回で治療しても有害事象が多くない特徴にも注目すべきである。短期間で、有害事象が少ないという特徴は、緩和照射においても大きな力を発揮する。最新のサイバーナイフ M6 では、円形コリメータに加え、マルチリーフコリメータが採用され、比較的広範囲の不整形の標的に対しても、効率よく照射できるようになった。位置精度が格段に高いサイバーナイフの特徴と相まって、適応はますます広がっている。本稿では、まず、サイバーナイフの仕組みと様々な疾患へのサイバーナイフの有用性について、さらに、新型M6で使いやすくなった特徴についても述べる。

2. サイバーナイフの仕組み

John R. Adler Jr.は、頭蓋内腫瘍に対するガンナイフのように、体幹部の病変でも、同様な多

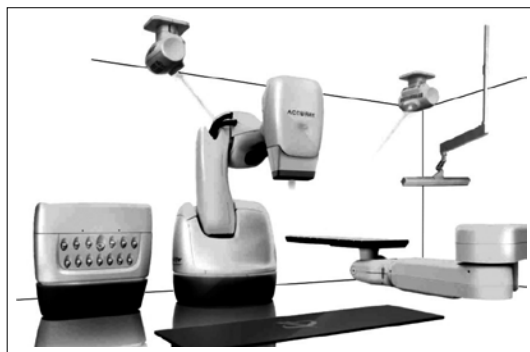


図1 サイバーナイフ

ロボットアームに小型リニアックが搭載され、さまざまな角度から標的を狙うことができる。天井と床に1対の直交するX線撮影装置があり、患者の姿勢・位置を検出する。

方向から照射し、線量を集中させる治療が有用と考え、ロボットアームに小型のリニアックを搭載するサイバーナイフを考案した (図1)。1994年に最初の治療を行った。標的の位置は2台1組のX線撮影装置で検出する。標的が動いた場合には、照射の目標位置が迅速に自動修正されることが最大の特徴である。呼吸性移動を伴う臓器内の腫瘍であっても、正確に追跡することができるため、標的を外すことなく、また標的以外への照射が少ない。サイバーナイフでの治療計画は、標的体積に線量の目標、制約を与えることで行い、インバースプランニングと呼ばれる。この方法では、通常のリニアックにおける治療計画のように1つひとつのビームの方向、形状、照射線量を設定する必要がなく、目標、制約から治療計画装置がビームを逆算して求める。インバースプランニングでは、理想に近い治療計画を作りやすい。1回～5回程度の寡分割で定位

* Nobuhiro TSUKAMOTO さいたま赤十字病院 放射線治療科 部長

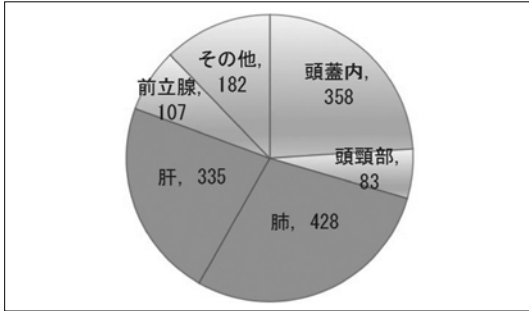


図2 照射部位別治療数(2011年6月～2017年3月 総治療数のべ1,493件)

頭蓋内は大半が転移性脳腫瘍で、頭頸部は再発・リンパ節転移である。呼吸性移動を伴った肺・肝臓の照射が約50%を占める。前立腺はほとんどIMRTであるが、今後定位照射が増えると思われる。そのほかは、骨転移や胸部・腹部・骨盤リンパ節転移の再照射が多い。

照射を行うことが多いが、1回線量2 Gyの通常分割で強度変調放射線治療 (IMRT) を行うこともできる。

国内では、1997年から頭蓋内・頭頸部病変に対し、定位照射を中心に治療が開始された。2004年に原発性・転移性の肺癌と肝癌に対する定位照射が保険適応となり、2010年に金マーカーが保険収載されたことから、肺・肝臓の病変のサイバーナイフ治療が行われるようになった。2011年より導入した済生会横浜市東部病院における照射部位別治療数を図2に示す。呼吸性移動を伴った肺・肝臓の照射が約50%を占める。2016年4月には、前立腺の定位照射が保険収載されたので、今後は前立腺癌に対する定位照射も増えると予想される。また、様々な癌腫からのリンパ節転移や骨転移に対しても、良好な長期間の予後が得られる場合もあり、転移部位が少数にとどまる症例には、特に有効である。

3. サイバーナイフの進化

サイバーナイフは、当初、固定径の円形コリメータ (図3a) を用いて、多方向から照射することで、集中した線量分布を実現していた。球に近い形状では、短時間で照射可能であるが、複雑な形状の標的の場合は、照射に長時間を要し、また必ずしも標的の形状に一致した線量分布にならないこともあった。できるだけ標的の形状



図3 3種類のコリメータ

- a. 固定径タングステン製コリメータ
径30 mmのコリメータ装着中の様子。5 mm～60 mm、12種類のサイズがあり、コリメータを付け替えることで、さまざまな大きさ、形の腫瘍に適切な照射範囲を設定する。
- b. 径可変コリメータ (Iris)
6片の金属よりなる絞りが2段に重なって、ほぼ円形の照射野を形成する。照射中にコリメータ径を変えることができるので、比較的多種類の径を組み合わせ、より腫瘍の形状にあった照射が可能になった。
- c. マルチリーフコリメータ (InCise)
3.85 mm幅コリメータが26対で、不整形照射野を形成する。1ビームでの照射範囲は約10 cm × 11.5 cmであるが、アイソセンターを持たないため、これより大きいターゲットに対しても継ぎ目なしの拡大した照射が可能である。

に近い線量分布を作るためには、複数の固定径コリメータを組み合わせたことが有効だが、コリメータ毎に多方向から照射するため、総照射時間が長くなり、その都度、人の手作業によるコリメータ交換が必要で、多種類のコリメータは使いにくかった。

カメラの絞りに似た形状のIrisコリメータ (図3b) が開発され、コリメータ交換なしに複数の径が使えるようになって、より標的に沿った線量分布が得られるようになった。さらにM6では、マルチリーフコリメータInCise (図3c) が搭載され、円形以外の形状のビームを用いて照射が可能になった。

X線画像で描出可能な肺病変に対しては、金マーカーを使用せず、病変そのものを追跡して照射が可能である。照射中にシステムが自動的に輪郭を検出して、移動量を計算し、腫瘍を追跡し、連続した照射ができる方法 (X-sight Lung) も導入され、金マーカーなしでの呼吸性移動追跡照射ができるようになった。

4. サイバーナイフの適応

4.1 頭蓋内病変

サイバーナイフ治療では、直交する2つのX線撮影装置で頭蓋骨を撮影し、あらかじめCT画像から生成した仮想の透視画像と比較することで、計画時の位置と照射時の位置の相違を計算し、ずれ分を補正した病変位置に照射する。通常のリニアックでは、ずれ分がゼロになるまで、患者を動かして位置合わせする必要があるが、1mm以下まではなかなか難しい。サイバーナイフでは、ずれ分を補正して照射できるので、患者を動かす必要がない。患者を動かすのではなく、照射目標を修正することで、正確に照射できることがサイバーナイフの大きな特徴である。照射中も標的の動きを捉えて継続的に修正することで、正しい位置に照射し続けることができる。簡単なプラスチック製の固定具で十分なため、分割照射も容易で、やや大きい病変や脳幹など重要臓器に近い病変も比較的安全に治療することができる。頭蓋内の病変では転移性脳腫瘍を治療することが多いが、症状緩和、予後改善が期待できる(図4)。

4.2 頭頸部病変

手術、抗がん剤、放射線治療を組み合わせた集学的治療が実施され、その残存や再発にサイバーナイフ治療が行われることが多い。多くは症状緩和が目標となるが、2～5年間も症状が消失し、通常の生活が続けられることも珍しくない。サイバーナイフ治療は1週間程度で終了するため、通院の負担も軽い。全頸部照射後の再照射が多いが、線量が30～35 Gy/5回程度で、ほぼ副作用なく病変を縮小させることができる。

眼窩内腫瘍、脈絡膜転移などの腫瘍に対して、視神経の線量を抑えた照射を行える。眼窩

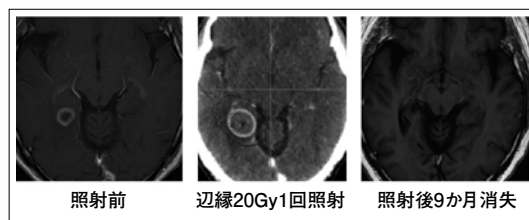


図4 転移性脳腫瘍

肺腺癌脳転移の症例、辺縁20 Gyで1回照射を行った。9か月後には完全に消失した。

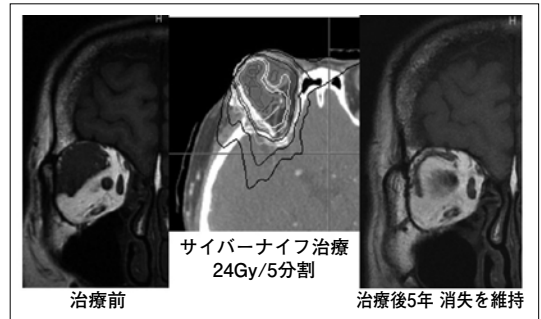


図5 右眼窩悪性リンパ腫(MALTリンパ腫)

34歳男性、サイバーナイフにて、水晶体、視神経の線量を下げながら、腫瘍には24 Gy/5回照射した。5年後も消失を維持している。

内リンパ腫に対し、24 Gy/5回照射で消失している(図5)。脈絡膜転移に対してもごく小さな標的に正確に照射できるので、副作用はほとんどなく、35 Gy/5回～36 Gy/3回程度の照射で腫瘍縮小～消失を維持することが多い。

4.3 肺および肝臓、脾臓

肺・肝臓内の病変は呼吸性移動が大きく、呼吸性移動対策が必須である。サイバーナイフでは病変の近傍などに金マーカーを留置し、この移動を捉えて、肺・肝臓内の腫瘍の動きを追跡しながら照射を行う。病変に正確に照射でき、また様々な方向から照射できるため、線量集中度も高く有害事象を減らすことができる(図6、図7)。肝は肺より臓器体積が小さく、耐容線量も低いいため、放射線の影響をより狭い範囲に抑える必要があるが、肝細胞癌の放射線感受性は比較的高く、肺癌に比べ低い線量で制御できる。肝癌

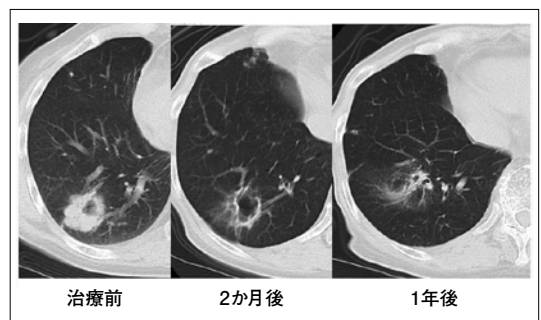


図6 肺への定位照射

歯肉癌肺転移に60 Gy/3回照射を行った。腫瘍は縮小し周囲に放射線肺臓炎を来し、その後収縮、1年後腫瘍は認められない。

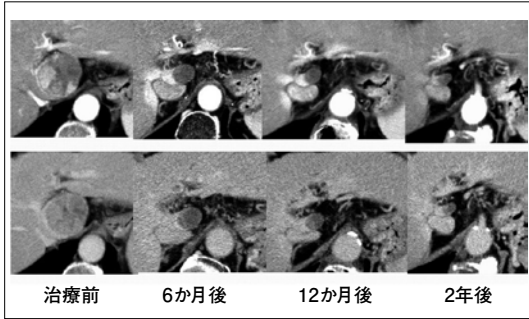


図7 肝への定位照射

S1の肝癌に43 Gy/ 3回の定位照射を行った。6か月程度で縮小し造影効果も消失した。

への定位照射では、おおむね3～5分割で局所制御は95%以上とする報告が多い。膀胱癌への照射も行われ、国内では少数であるが成果をあげている施設もある。M6に搭載されたマルチリーフコリメータを用いて、膀胱の残存・再発など、十二指腸など要注意臓器に隣接する、複雑な形状の病変を短時間で照射できる可能性がある。

4.4 前立腺

前立腺癌の定位治療では、前立腺や精囊の一部が標的となり、腫瘍を標的とする定位照射とは異なる。正常な前立腺実質や尿道を標的内に含み、尿道、膀胱、直腸等の要注意臓器が接している。海外では、多数の前立腺癌患者が35 Gy～36.25 Gy/5分割程度の定位照射を受け、治療成績も良く有害事象も許容範囲内であるとする報告が多い。照射期間も1～2週間で終了するため患者の利便性が高く、国内でも今後普及する可能性がある(図8)。照射時のわずかな前立腺の移動に対しても、回転移動も含めた位置修正が可能なサイバーナイフでは、治療効果が高く有害事象の少ない治療が実施できると期待される。

4.5 リンパ節転移

子宮頸癌・卵巣癌や大腸癌などのリンパ節転移も、一度通常分割照射を行った範囲か、隣接した範囲で増大した場合、サイバーナイフで再照射を行う場合がある。腸管が避けられれば、ほとんど有害事象なく治療できることが多い。通常分割で不十分であった症例でも、定位照射によって局所制御が得られ、長期間にわたり無再発で経過している場合もある。

少数とはいえ、無病変となって長期経過をた

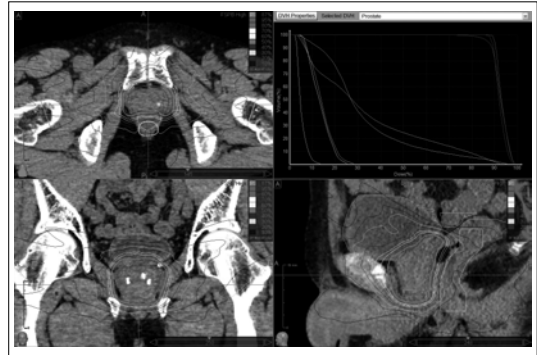


図8 前立腺への定位照射

中間リスクの限局性前立腺癌の症例。前立腺、精囊近部位に35 Gy/5回の定位照射を行った。前立腺中心部は尿道があるため、この領域の高線量に注意が必要。

どる症例は、リンパ転移に対して結果的に根治治療となり得ることを示しており、限局性病変の場合は、局所治療とはいえ積極的に治療を行うことが必要であると思われる。

4.6 骨転移

脊椎など骨転移は、頭頸部と同じように骨の形状から標的の動きを追跡できるため、金マーカーなしで照射が可能である。椎骨転移等で、一度30 Gy/10分割などの放射線治療を行った後に、再び増大して痛み等の症状を来すことは少なくないが、脊髄には耐容線量に近い線量が投与されており、通常のリニアックでは再照射の適応はない。サイバーナイフでは、脊髄の線量を低く抑え病巣部に集中する照射が可能である。

骨転移に対し、初回治療として定位照射を行うことのコンセンサスは得られていないが、比較的小さな骨転移であれば、ほとんど有害事象なしに定位照射できる可能性は高く、骨転移の治療の有力な選択肢となる可能性がある。また、マルチリーフコリメータを用いれば、複数椎体に及ぶ骨転移を比較的短時間で照射することができるため、有用性は高まっている。

5. 定位照射による根治治療と緩和治療

サイバーナイフを含む定位照射では、従来の分割照射に比べ狭い範囲に高線量を照射する。腫瘍の制御率は高くなるが、定位照射の効果は極めて局所的であり、根治が期待できるのは、腫

瘍が限局性で他に病変がない場合のみとなる。画像に現れない潜在病変には、原理的に照射できない。また、照射範囲、線量の設定が非常に重要で、標的設定が狭すぎれば辺縁部から再発し、広すぎれば不要な合併症の原因となる。特に主要な神経や脈管、腸管の近傍では、重篤な合併症の可能性がある。また皮膚や口腔などに近い病変では、時に潰瘍を形成し感染や出血の危険がある。十分高い線量を投与できれば根治の可能性が高まる。

一方で高線量領域が標的周囲に限られ、少ない回数で照射しても障害を受ける範囲があまり広がらない特徴は、緩和照射に適した特徴でもある。周囲に放射線治療を行った既往があっても、高線量領域が腫瘍内かごく近傍にとどまる場合は再照射可能である。緩和の場合は、医学的には他に病変があるかどうかは重要ではなく、その病変が症状や今後のQOL（生活の質）に影響する病変かどうかで方針が決まる。また、通常照射より高線量を投与できるので、長期にわたる症状改善を期待できるほか、照射期間も短く繰り返し行える特徴も、緩和照射に適した治療といえる。

定位照射は、根治療法、緩和療法のいずれの場合も有用で、根治療法の場合は、線量増加による根治性の向上、周囲の線量低減による有害事象の減少が期待でき、緩和目的の対症療法の場合、線量増加による効果持続の長期化、照射期間の短縮、周囲の線量低減による急性期有害事象の軽減が期待できる。

6. 新型サイバーナイフM6の通常分割、大照射野への適応

予防照射と化学療法併用療法での放射線治療は、腫瘍と正常組織の放射線照射後の回復の差を利用した治療のため、1回線量は1.8 Gy～2 Gy程度で、25回～30回程度の分割照射が行われる。いずれも従来は技術的な限界から、対向2門照射等の比較的簡便な照射法が用いられ、必ずしも予防領域や腫瘍体積内が均一に照射されるわけではなかった。近年になってIMRTが行えるようになり、病変部など強く当てたいところ

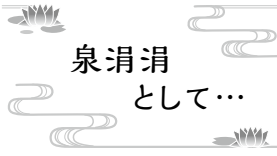
に強く、要注意臓器等の避けたい部位にはできるだけ弱く、また予防領域には一様な強さで照射することが可能になった。通常リニアックにおけるIMRTでも、腫瘍と周囲の予防領域、要注意臓器などに適切な線量を投与でき、しかも短時間での照射が可能になってきた。

サイバーナイフでは、基本的に60～100方向以上の多方向からX線ビームを使って、標的に合わせた形状で線量分布が得られる。このため1回線量が小さいと、1門・1回当たりの照射線量（モニタユニット、MU）が小さくなり、線量精度を保つうえで不利になるため、比較的1回線量が高い照射に適した仕組みといえる。術後予防照射や前立腺癌のように、腫瘍と正常組織を標的とし、放射線障害からの回復を利用して有害事象を減らす照射の場合、1回線量が2 Gy程度の通常分割で照射する場合は、門数を抑える必要がある。20～30門とすれば、出力が不安定になる小さなMUを避けることができる。

サイバーナイフM6ではマルチリーフコリメータが利用できるようになり、不整形に合わせて照射野が設定できるので、20～40門程度でも十分形状に沿った照射ができる。照射範囲は約10 cm×11.5 cmと小さいものの、IMRTを効率よく実現できる。サイバーナイフは、いわゆるアイソセンターを持たず照射野中心のない照射が可能のため、さらに大きな病変にも、継ぎ目のない拡大照射が可能である。マルチリーフを搭載したサイバーナイフM6は、定位照射からIMRTまで1台で多様な病変に適切な線量分布と線量分割で、柔軟に照射が行えるようになった。従来のリニアックに比べ、容易に高精度照射が実現できることを考えると、サイバーナイフの守備範囲は格段に広がったと考えられる。

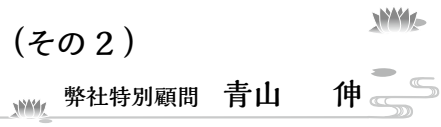
著者プロフィール

徳島大学医学部卒（1986年3月）慶應義塾大学大学院医学博士（1994年3月）、国立東京第二病院（現東京医療センター）、都立広尾病院、茨城県立医療大学、獨協医科大学、埼玉医科大学、済生会横浜市東部病院を経て、2013年より、さいたま赤十字病院放射線治療科部長、主にサイバーナイフを用いて高精度放射線治療、肺・肝などの定位照射を行っている。



泉涓涓
として…

原子力艦事始め (その2)



弊社特別顧問 青山 伸

1946年3月26日、米国海軍は原子力推進を本格的に検討する機会を得た。装備担当の艦船局が、ヘリウムガス冷却の動力試験炉プロジェクトへの招請を受けたのである。艦船局長のアール・ミルズ提督は5名の技術系の将校と民間の技術者3名をオークリッジに派遣した。グループでは、艦船における電気機器の設計・性能要求・検査・運用で妥協することなく詳細を把握・管理・改善した実績を持つハイマン・リコーヴァー大佐が実質的に長となった。

プロジェクトは、第二次世界大戦の最終期にマンハッタン計画のシカゴ金属研究所で所長を務め、後に太陽エネルギー活用のパイオニアとなったファーリントン・ダニエルズが構想した。実用性はともかく既存技術の延長で小型の実験装置をマンハッタン計画の研究所、産業界、軍が協力して組上げることで、関係者が基礎技術を体得することを目論んでいた。リコーヴァー大佐のグループは、マンハッタン計画の科学者たちとの議論を重ねるなかで、特に以下の示唆を得ていた。

▶ **ウォルター・ジン (アルゴンヌ研究所所長。原子炉構想の主導者) :**

遅速中性子を活用して水かヘリウムを熱移送媒体とする。遮蔽は独立して考える。可能性が明らかになった時点で地上にプロトタイプを造る。

▶ **アーネスト・ローレンス (カリフォルニア大学バークレー校放射線研究所長) :**

1億ドル規模の資金を投入すれば、大規模プロジェクトの効果として優秀な人材の確保も民間企業の参加も確実となり、3年で原子炉は出来るであろう。

▶ **エドワード・テラー (ロス・アラモス研究所に滞在) :**

動力炉は、努力すれば2年で実現する。設計を簡素にして余計なことを持ち込まないこと。経済的に見合わないかもしれないが、実現することが大事。プロジェクトを達成するにはエンジニアの教育が心配。

前後して、産業界も原子力への取組を明らかにしてきた。マンハッタン計画からハンフォードでのプルトニウム生産を本格化させることを求められたジェネラル・エレクトリック (GE) は、併せて液体金属冷却炉の研究を進めるためニューヨークのスケナクタディにノール原子力研究所を設置する契約も得た。また、ウェスティングハウス (WH) など人材を派遣することで、この新たな技術で後れを取らないようにしようとしていた。

戦争の終了に伴う大規模な軍備縮小と人員整理を求められた海軍内部では、実現性の見えている核弾頭の開発が先という意見も強かった。しかしながら、現場での活動を担当する作戦部では、装備について優位性を確保するための検討が進められた。発見される可能性が低く、より高速で無制限に長距離を潜航推進できる潜水艦を理想として、その動力として原子力推進を挙げ、1950年代半ばまでに真の潜水艦を達成しようとする計画が1947年1月9日に潜水艦将校によりとりまとめられた。これを受けた海軍作戦部長のチェスター・ニミッツ提督は、翌日にはこれを許可し、海軍で公式の動きが始まった。それでも、原子力推進の動きは遅々として進まなかった。

「D-シャトルの開発の経緯と今について」

大洗研究所 大口 裕之

D-シャトルは、平成23年3月の東日本大震災による東京電力福島第一発電所事故に伴う放射性物質に汚染された地域で暮らしている人々が、自分達の放射線被ばく量を簡単に測定できる線量計として開発された。今では、この製品を利用した様々な研究の道具として利用されている。ここでは、これまでの経緯及び今後の開発に関して紹介していく。

1. はじめに

弊社は、これまで放射線業務従事者用個人線量計に関するサービス及び開発を進めてきたが、2011年に普及した様々な電子線量計が、インターネットを通じて容易に入手できることに驚いた。また、(独)国民生活センターでは、デジタル式個人線量計の性能テストが行われ、著しく性能に問題のある製品が紹介され、個人線量計で得られる数値の信頼性を担保するには、校正が重要であることを消費者に伝え、行政へ要望した。⁽¹⁾ (国研)産業技術総合研究所(以下、産総研と呼ぶ。)では、福島に住民に

対して技術的な支援として、プロジェクトが発足し、D-シャトルの原型となる小型軽量電子線量計が2012年に開発された。(図1参照)⁽²⁾

図1のとおり線量計は、手のひらサイズである。線量計の大きさは、使用する電池の大きさに依存し、使用期間は、使用する電池能力に依存している。この線量計には、線量を表示する部分が無いので、パソコンを通じて、線量計のデータを読み込み、日々の線量をグラフ化することができるシステムとなっている。一見、製品としては、完成されていると思われるが、実際には、様々な課題があり、その問題を解決しないと販売することができない。その中で最も大きな課題は、校正方法が明確になっていないことが挙げられる。特に数千個の線量計を大量に校正しなければならない場合には、専用の治具が必要であり、個々の線量計へ校正定数を入力する必要がある。また、大量の線量計を校正できる施設が必要になってくる。弊社では、この照射施設があることから、2012年JST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)の公



	1時間	昨日	過去1週間	全計測期間
被ばく量 (μSv)	0.08	1.2	7.1	7.1
積算日数 (日)		1.0	5.0	5.3
平均線量率 (μSv/h)		0.05	0.06	0.06

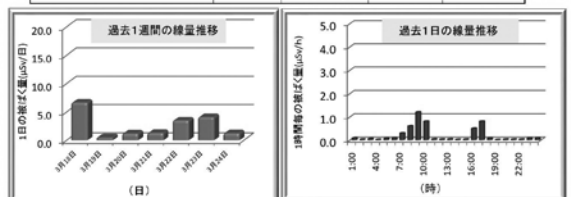


図1 (国研)産業技術総合研究所で開発された小型軽量電子式線量計

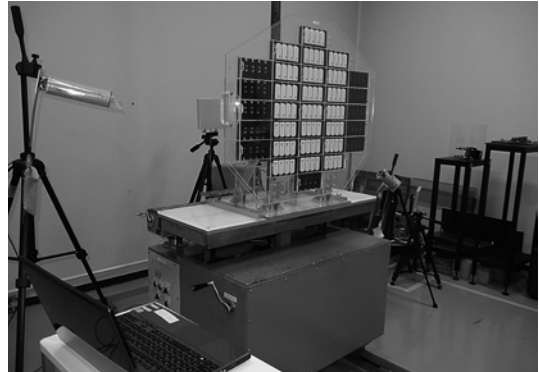
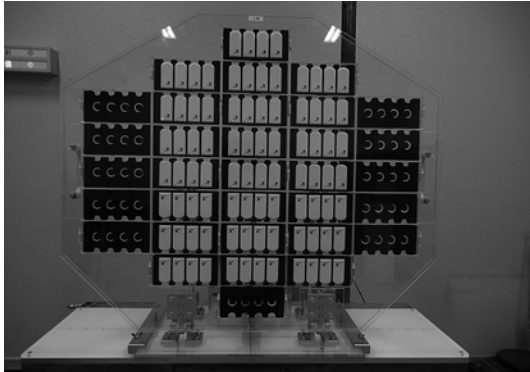


図2 D-シャトルの大量校正システム

募において、大量校正システムを構築する内容で申請し、開発を進めた。^{(3) (4)}

図2は、大量のD-シャトルを同時に照射するための照射治具を示している。実際に校正するには、設置したD-シャトルすべてを無線通信状態にして、個々のD-シャトルに登録されている固有の識別番号と現状の線量をパソコンへ送信する。その後、 γ 線照射して得られた個々の校正定数をD-シャトルへ登録した後、再度 γ 線照射して、D-シャトルが正常に評価していることを確認している。

一方、D-シャトル本体に関しては、様々な課題があったが、1年間で課題を解決した。⁽⁵⁾

2. D-シャトルの開発

産総研で開発された線量計を前提に開発を行ったので、当初は、容易に完成すると考えていたが、実際には、様々な問題を抱えていて、早急に解決する必要があった。

1) D-シャトルの温度特性

電子線量計は、一般的に温度環境の変化で大きく変化するので、その調整が難しい。電子線量計のJIS規格によれば、温度環境の下限温度は、 -10°C となっている。しかし、実際の福島で生活している住民のことを考慮すると、 -20°C を下限温度とする必要がある。D-シャトルは、 -20°C から 40°C までの線量計の応答性を $\pm 10\%$ 以内に抑制できるように改善した。

2) D-シャトルのエネルギー特性

線量計の最も重要な要素としては、線量計のエネルギー特性が $\pm 30\%$ 以内に収まっていることである。しかし、実際には、放射線のエネルギー毎にD-シャトルの応答性が変化し、さらに、D-シャトルの使用温度環境を -20°C まで引き下げたことが影響して、応答性調整をさらに難しくした。この解決案として、D-シャトルは、福島の住民の被ばくを管理することを目的としているので、一般の放射線業務従事者が利用しているX線領域を対象外とし、エネルギー特性を検討した。そこで、福島で生活している環境を理解するには、その現場の放射線スペクトルを理解する必要があったので、飯館村の除染前後でのエネルギースペクトルを取得し、そのエネルギースペクトルに対応できるようにD-シャトルの特性を開発した。

図3は、飯館村で除染前後の γ 線スペクトルを示している。横軸は、放射線のエネルギーを示し、縦軸は、相対値（エネルギー毎で得られる時間当たりの線量を総線量で除した値）で示している。細線は、除染前のスペクトルを示し、太線は、除染後のスペクトルを示している。除染前は、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の660 keV、800 keVの γ 線ピークが顕著に現れている。除染後では、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs のピークよりも100 keV~200 keVの低エネルギー側の γ 線成分が多いことが分かる。この理由としては、除染後では、除染地域周辺からの散乱線成分の影響が大きいと

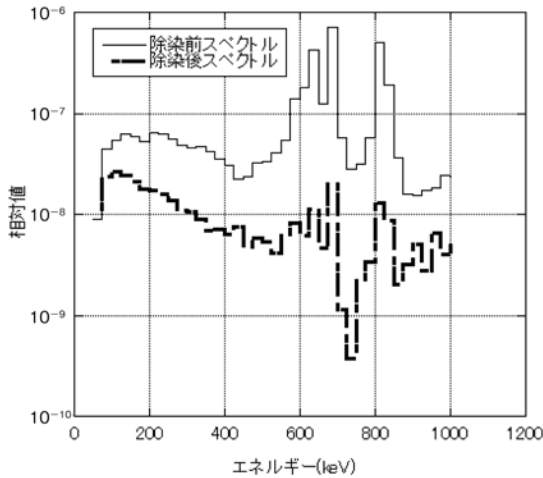


図3 除染前後におけるエネルギースペクトル

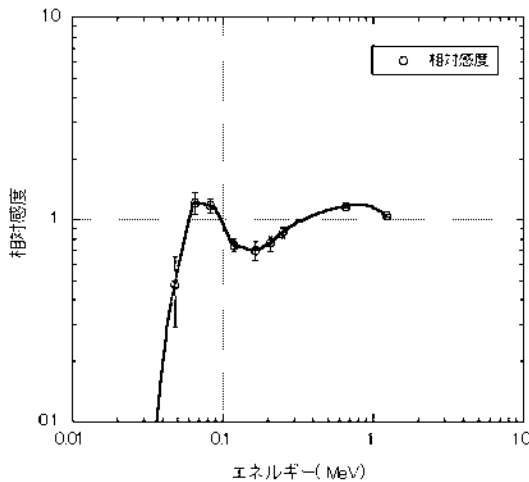


図4 D-シャトル線量計のエネルギー特性

思われる。

γ 線用電子線量計のエネルギー特性は、一般にCs γ 線を基準とした場合、 $\pm 30\%$ 以内に設計されている。これらの線量計を除染前後の環境で調査すると、除染前では、スペクトルデータから求めた線量と同程度で評価している。しかし、除染後のスペクトルデータから求めた線量では、過小評価する。D-シャトルの応答性も同様の傾向を示すことから、D-シャトルの応答に1.1倍の補正を入れて過小評価しないようにしたD-シャトルのエネルギー特性を図4に示す。横軸は、放射線のエ

ネルギーを示し、縦軸は、相対感度を示している。Cs γ 線に対する応答性に感度補正係数を加えることで、除染後のスペクトルから求めた線量率 $0.36 \mu\text{Sv/h}$ に対して、D-シャトルの線量は、 $0.35 \mu\text{Sv}$ と同程度で評価することが可能になった。

3) D-シャトル本体と構造

図5は、D-シャトル本体と構造を示している。D-シャトル本体には、固有の識別番号と2次元バーコードが貼られ、固有の識別番号をD-シャトル内部の不揮発性のメモリに記録している。D-シャトル本体の薄い窓部分は、LED読取り部分となっているので、この部分が汚れていると読取りできない場合がある。読取り部分が汚れた場合には、汚れ部分を取り除ければ、読取りが可能になる。

線量計のセンサーは、シリコンPINダイオードが用いられ、このセンサーに放射線が入射されると放射線量に比例して流れる微弱な電流を増幅して、放射線の信号として計測している。計測値は、一定時間毎に不揮発性のメモリに記録される。制御系は、ボタン電池1個で1年以上の電池寿命を実現するため、単三乾電池駆動X線源等で採用した超低消費電力回路を用いて電力消費を抑えている。線量率に関しては、 0.5 mSv/h 以上の線量が線量計に入射されるとLED点滅やブザー音により装着者に警告するように設定されている。電磁波防止用としては、線量計内部を全面銅塗装で覆い、半導体検出器周辺も洋箔板で覆い、周波数を変更して電磁波の影響を調査した。電池についても、一般用の電池は、未使用でも電池は消耗し、数ヶ月しか寿命が無い。特に温度によっては電圧が変化するので、低温度から高温度までの環境でも、電圧が安定し、電池消耗の少ない製品を採用した。また、1年間、住民が利用することを考慮し、電池は、電池容量の大きいCR2450ボタン電池とした。

通常の電子線量計は、電池ボックスがあるが、このD-シャトルには、電池ボックスが

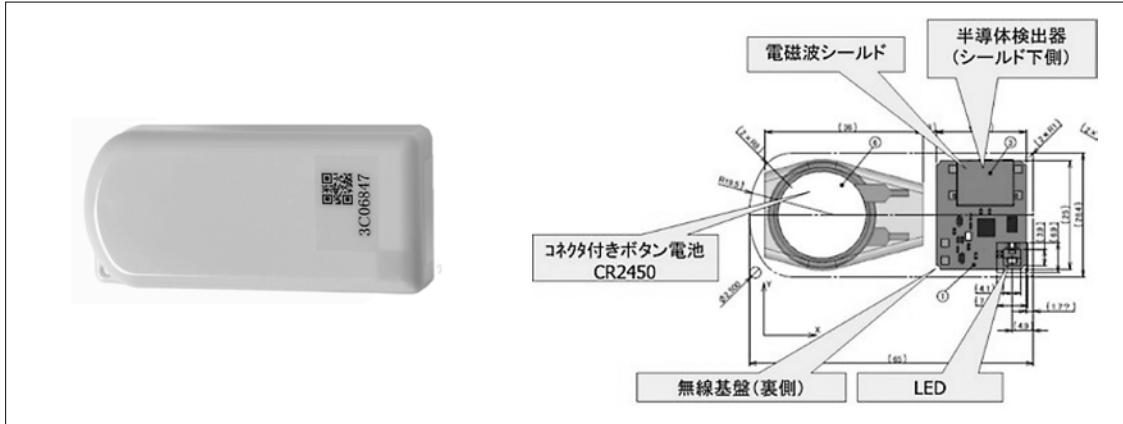


図5 D-シャトル本体と構造

ない。電池ボックスは、容易に電池を装填できる反面、接触不良で駆動しないことがある。もし、D-シャトルを利用される人々の線量が、接触不良で測定できなくなると信頼度が損なわれる。そこで、接触不良が最も少ないコネクタを用いて接続する方法にした。

4) D-シャトル用表示器

D-シャトルの読取りとしては、パソコンからデータを読み出す方法と簡易な表示器で線量を読み出す方法がある。しかし、開発当時は、簡易な表示器は想定していなかった。JSTの申請でも、この表示器は提案していない。(当然予算申請していない。)表示器を製作することになった理由は、福島県庁へ福島の住民の状況に関して相談した際、福島県外に避難されている住民が多く、福島へ帰宅できない状況にあることが分かった。そこで、パソコンで管理しなくても、容易に測定できるシステムを考慮して欲しいと要望され、表示器を開発した。この表示器は、個人が持ち運べる大きさ(68×44×37mm)で、重さが50gと軽く(図6参照)、線量計を挿入すると、全計測期間内の被ばく量、積算日数と前日の被ばく量を液晶パネルに約10数秒表示する。再度、表示するには、一旦、表示器から線量計を取り出して、再度挿入すると表示する構造になっている。表示器は、通常使用で5年間電池交換なしで利用できる。



図6 表示器

5) パソコン管理

パソコンからの読み出しは、専用ケーブルでパソコンにつなぐと全計測期間内の被ばく量や、月毎の線量、日々毎の線量、指定された日の時間毎の線量を表示できる。測定・表示可能な線量当量は $0.1\mu\text{Sv}$ (γ 線)の桁、平均の線量当量率は $0.01\mu\text{Sv/h}$ の桁から表示し、全てのデータを自動的にグラフ化することで、線量が高い時期を目視で確認することができる。この高い時期の場所が分かれば、除染を行うか、その場所を避けることで被ばく低減に繋げることができる。しかし、研究者からは、全測定データをCSVで欲しいと要望され、当時東京大学の早野龍五先生からの要望により、任意に指定した期間の時間毎の線量をCSVで記録するように改良した結果、住民とアドバイザーとの説明に最も有効なツールとなった。特に住民の行動記録から高い線量地域を特定できることで、住民とアドバイザーとの信頼性が増した。⁽⁶⁾しかし、設計思想が、1日のデータを読み出すことを前提に開発したこともあり、

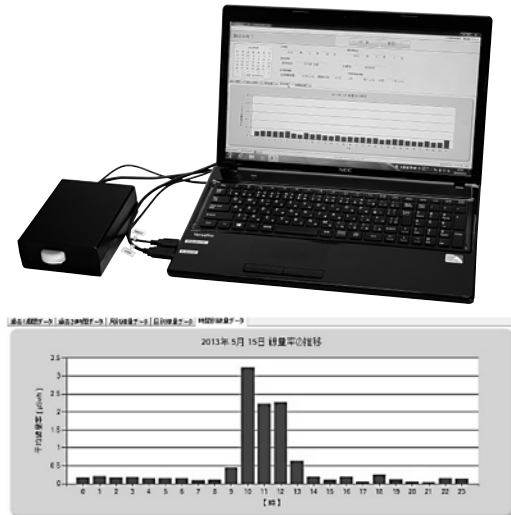


図7 パソコンで管理可能な読取装置

全てのデータを読み出すには、相当の時間を要することが分かった。現在は、この問題を解消する製品が完成している。

3. D-シャトルの展開

D-シャトルは、容易に時間毎の線量を測定できることから、福島県内外での自然放射線量を自ら測定して把握できる点が高く評価された。また、このD-シャトルを利用して、様々な調査が始められている。⁽⁷⁾たとえば、福島県内外での線量調査、除染前後での線量調査などに利用することが可能である。また、携帯のGPS機能を活用すれば、個人の行動と線量からどのような状況で被ばく量が高いかを把握することが可能であり、被ばく抑制に効果がある。現在は、個人用の線量計とは別に、環境用のエネルギー特性を取得し、環境用線量計として利用することを可能とした。

今後は、X線領域まで測定することができるようになれば、漏洩線量を測定することができ、線量の高い場所を特定することもできる。さらにタブレット端末経由で無線通信を行えば、放射線管理用として使用することも可能である。

4. おわりに

D-シャトルは、一般住民の個々の生活における放射線の被ばく量を把握することを目的に開発した軽量・小型放射線積算線量計であり、その開発の経緯について紹介した。今を思えば、ここに至るまでには、様々な偶然が重なってできた製品である。もし、弊社以外の企業と共同研究を進めた場合、1年後に製品が完成できるかと質問されれば、不可能であり、奇跡だと答えると思われる。実際に開発した我々さえ、何回も挫折を繰り返し、不可能と思いながら漸く辿り着いた製品でもある。(開発リーダーの私さえ、何度も開発を中止しようと考えたこともあった。)

D-シャトルは、携帯することで、各個人が日々の放射線の被ばく量をモニターし、どのような状況で被ばく量が高いかを把握することができ、さらに個々の被ばく量を管理することで、住民の健康調査の一環として役立てて欲しいと思いながら開発に携わった人々が作り上げた製品である。

参考文献

- (1) (独)国民生活センター、「デジタル式個人線量計のテスト結果」、2012.5
- (2) 鈴木良一、「超小型放射線線量計の開発とその応用：装着負担が少なく1年以上の電池寿命を有する線量計(特集 放射線をはかる)」、検査技術、18(7)、62-64、2013.7
- (3) 科学技術振興機構報第874号 <http://www.jst.go.jp/pr/info/info874/besshil.html>
- (4) 産総研プレス発表 http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120213/pr20120213.html
- (5) 千代田テクノ「D-シャトルのご紹介」、FB News No.445、2014.1
- (6) 早野龍五、「福島の内外部被ばくと外部被ばく - 測って伝える個人線量 -」、千代田テクノFB News No.447、2014.3
- (7) Wataru Naito, EVALUATION OF DOSE FROM EXTERNAL IRRADIATION FOR INDIVIDUALS LIVING IN AREAS AFFECTED BY THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR PLANT ACCIDENT, Radiation Protection Dosimetry, IN PRESS

書籍紹介

「福島へのメッセージ 放射線を怖れないで！」



著 者 須藤鎮世
 発 行 (株)幻冬舎メディアコンサルティング
 発 売 (株)幻冬舎 (Tel: 03-5411-6222)
 定 価 800円+税
 2017年2月7日(第1刷)発行

福島では避難指示解除に伴い、自宅に帰れる人々が増えてきましたが、やはり放射能は怖いと思っている方々が相当に多い状況です。低線量放射線は無害どころか、却って有益で、心配すること自体が最も有害だということをお伝えしたいとの著者の思いに従って本書は書かれています。

著者(就実大学名誉教授、細胞遺伝学、第一種放射線取扱主任者)は、福島第一原子力発電所の事故対応で、(文部科学省が全国の大学から、モニター員を募集)学生実習で使うガイガーカウンターを持参して、福島県、茨城県で測定に参加、住民から測定結果と健康影響について聞かれたため、原点に帰って放射線の影響を調べたといいます。

1927年、遺伝学者のハーマン・マラーは、X線をショウジョウバエに照射し、遺伝子に変異が起こることを発見し、1946年のノーベル賞がマラーに授与されました。講演に先立ち、マラーは、放射線による影響には閾値(イキチ)があるという論文の原稿を受け取り、すぐに検討しようと返信しながら、受賞講演では、「閾値がないという結論から逃れる術はない」と主張しました。ロックフェラー財団は、米国科学アカデミーを利用し、放射線はどんなに微量でも危険であるというキャンペーンを展開しました。アカデミー内の遺伝委員会(17人のうち13人は遺伝学者)は、1956年6月12日に成果を発表、(1934年以來の500 mSv/年という閾値を廃棄し、)直線閾値なしモデルを勧告しました。6月13日のニューヨーク・タイムズは、一面トップ記事で、放射線は人類の将来への脅威だ、どんなに微量でも子孫に有害だ、と訴えました。

1956年の「直線閾値なしモデル」が勧告されて以来、放射線はどんなに微量でも危険があるという教育がなされてきました。放射線は怖いという思いがストレスとなり、免疫機能が低下し、健康を害することに対し、著者は直線閾値なしモデルは、仮説であること、広島・長崎の被爆者の被曝線量は過小評価であり、広島・長崎の被爆者の生涯調査は直線閾値なしモデルを支持しないこと、放射線が生物にとって有益なのは進化の過程で獲得した適応応答があること、福島の汚染程度はどのくらいかを詳細に紹介しています。(金子 正人)

平成29年度放射線安全取扱部会年次大会 (第58回放射線管理研修会)

「はじまりの島 主任者よ いざ夢の舞台へ」として、淡路島で開催いたします。皆様のご参加をお待ち申し上げます。

- 開催日：平成29年10月12日(木)、13日(金)
 会場：淡路夢舞台国際会議場（兵庫県淡路市夢舞台1番地）
 JR新神戸駅（JR三ノ宮駅）から高速バスで60分（45分）
 又はJR明石駅から徒歩、高速船、路面バスで45分
 参加費：事前登録 6,000円 当日登録 7,000円
 交流会事前登録 5,000円 当日登録 6,000円

- ・詳しくはホームページをご確認ください。
 (http://www.jrias.or.jp/annual_meeting/index.html)

***** プログラム概要 (予定) *****

- ◆【1日目】 [10月12日(木) 受付9:30~]
- * 特別講演Ⅰ 「放射線安全管理行政の動向」 松本武彦（原子力規制庁）
 - * シンポジウムⅠ 「法令改正を踏まえた事業所の取り組み」（仮題）
 - * ポスター発表・相談コーナー
 - * 交流会
 - * ナイトセッション（分科会合同企画）
 - * 星を観る会
- ◆【2日目】 [10月13日(金) 受付9:10~]
- * シンポジウムⅡ 「主任者のスキルとしての緊急時モニタリング
 - そのプラットフォーム構築のための教育研究の試み」
 座長：松田尚樹（長崎大学）
 - * 特別講演Ⅱ 「核医学イメージングでわかる情動のメカニズム
 - “ときめき”の脳科学」 高橋佳代（理化学研究所）
 - * 特別講演Ⅲ 「フクシマから始める疫学入門」 田中司郎（京都大学）

この他に機器展示、書籍コーナーを予定しています。

- *****
- 【連絡先】：(公社)日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会事務局
 〒113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45
 Tel. 03-5395-8081 Fax. 03-5395-8053
 E-mail gakujutsu@jrias.or.jp

サービス部門からのお願い

測定依頼票が見当たらないときは…？

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。

測定依頼の際に同封をお願いしております「測定依頼票」は、「モニタお届けのご案内」の右側部分にございます。ミシン目で切り離してご使用ください。

「測定依頼票」を紛失されたときは、次回分の「測定依頼票」をコピーし、ご使用期間を当該期間に訂正してご使用ください。「測定依頼票」の再発行は行っておりません。

コピーなどの方法が取れないお客様は、メモ用紙にご使用期間、返却モニタ個数を記入し、測定依頼してください。お客様のご理解とご協力をよろしくお願いいたします。



編集後記

- いよいよ梅雨が明け、活動的になれる夏の到来です。昨年より導入された「山の日」の連休を利用して、すでにご旅行などの計画を立てていらっしゃる方も多いと思います。一方で、昨年は非常に台風の多い8月となり、日本に4個の台風が上陸しました。これは平年値0.9個を大きく上回り、1951年の統計開始から数えて、ひと月の上陸数が1位タイとなった月でもありました。旅行好きな私としては、(水不足にならない程度に) 晴れの日が続くことを祈るばかりです。
- 中部電力株式会社の井上英彦氏ならびに日本原燃株式会社の沼端隆紀氏に、電気協会技術指針「放射線モニタリング指針 (JEAG4606)」の改定について、指針の概要および改定ポイントについてご解説いただきました。今回、使用済燃料の再処理施設も指針の対象となり、平成25年7月施行の新規制基準が考慮された最新の知見が反映されています。施設内で勤務される放射線業務従事者等の一層の

- 業務改善が図られることが期待されます。
- 「サイバーナイフの進化と適応拡大」について、さいたま赤十字病院の塚本信宏氏にご執筆いただきました。頭蓋内から始まった定位照射は、現在は体幹部の治療に用いられるようになり、様々な疾患への有用性が高まっています。サイバーナイフをはじめ放射線治療装置を販売する弊社としては、激励のお言葉と受け止め、一人でも多くの患者様のお力になれるよう改めて身が引き締まる思いです。
- 当FBNewsにて何回か登場しております弊社の個人線量計「D-シャトル」について、開発リーダーより開発の経緯と今後の展望についてご紹介させていただきました。D-シャトルの原型から考えると早5年が経ち、おかげさまで様々な線量測定の場面でご利用をいただいております。フィルムバッチから創業した線量測定のプロとして、引き続き皆さまのお役に立てるような商品づくりに努めて参ります。(高羽百合子)

FBNews No.488

発行日/平成29年 8月 1日

発行人/山口和彦

編集委員/今井盟 根岸公一郎 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘
谷口和史 岩井淳 川口桃子 小口靖弘 高橋英典 高羽百合子 堀口亜由美

発行所/株式会社千代田テクノロ

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/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷/株式会社テクノロサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円 (本体371円)