

CONTENTS

1. 福島原発事故をめぐる倫理的考察—ICRP-TG94の活動報告として—
2. D-シャトルの特性と応用
3. 筑波放射線安全交流会（TARS）の活動について
4. 固着性表面汚染の除去に向けたイメージングプレートの利用
5. 「日本アイソトープ協会」ご入会のお誘い



北海道大学 古河記念講堂（撮影者：北村奏映氏）



公益社団法人

日本アイソトープ協会
Japan Radioisotope Association

福島原発事故をめぐる倫理的考察 —ICRP-TG 94 の活動報告として—



独立行政法人放射線医学総合研究所
放射線防護研究センター・
分子イメージング研究センター（併任）

主任研究員 栗原 千絵子

1. はじめに：放射線防護と倫理

国際放射線防護委員会（ICRP）では2013年秋より「放射線防護における倫理」と題する文書をまとめることになり、筆者はその作業グループ（Task Group (TG) 94）に参加している。筆者は放射線防護の専門家ではなく、「生命倫理」を専門とする人文科学系の研究職である。放射線防護の世界的なエキスパートの方々と共同作業をさせていただけることは大変な光栄で、力不足を感じながらも、日々新しい発見があり、貴重な体験をしている。

「放射線防護と倫理」という課題は長い考察の歴史があり、1957年にTaylorは「放射線防護は科学の問題であるだけではなく、哲学、道徳、そして最大限の賢明さをもって取り組むべき問題である」と述べている¹⁾。確かに、「放射線防護」という言葉は、「護る」という価値判断を伴う行動の意味を含んでいる。

TG94の活動は、国際学会などの機会を利用してワークショップ（以下、WS）を開催し、意見交換を重ねている段階であり、目標とする成果物の姿は未だ明確ではない。このため本稿では、筆者のWS参加体験記として報告する。

2. 生物医学研究ボランティアの放射線防護

筆者の「放射線防護」との関わりの契機は、日本国内で「実験目的で人体に放射性物質を投

与することは倫理的に許されるか、許されるとしたらどんな条件か」という課題の検討に、生命倫理の立場で参加したことであった。世界中ではどんな規制や指針があり、国内ではどんな形で行われているのか、調査しようという有志による研究会を酒井一夫放射線防護研究センター長とともに立ち上げ、海外規制調査と国内アンケート調査を論文にまとめた²⁾。

この課題は日本核医学会と日本アイソトープ協会の合同委員会に継承され、対象を拡大したアンケート調査が行われ、日本核医学会による提言がまとめられた³⁾。普及活動を、と考えていた矢先に、東日本大震災が起きて、放射線防護の専門家たちは国を挙げての原発災害対策に注力することとなった。

3. 太田（韓国）でのWS

震災から3年余り経過した8月、韓国の太田（Daejeon）市で放射線防護と倫理に関するWSが開かれることになった⁴⁾。知らせを受けた酒井センター長の推薦で、筆者が参加し前述の生物医学研究ボランティアに関する日本国内での取り組みについて発表することになった。アンケート調査結果に加えて、放射線防護体系の三原則「正当化」「最適化」「線量限度」は生命倫理の三原則「人格の尊重」「善行」「正義」のうち「善行」と関連しており（表）、他の2つが

表 生命倫理の三原則（左）と放射線防護体系の三原則（右）

人格の尊重 / 自律 人間の尊厳、自己決定 善行 害をなしてはならない 益を最大化、害を最小化 正義 リスクと益の公平な配分	正当化 社会的経済的便益と勘案して許容しうる被ばくについての判断 最適化 合理的な限り最も低い被ばくを達成する 線量限度 個人が受ける線量に対する限度の適用
---	--

生命倫理の三原則は「ベルモント・レポート」(1979年、米国。筆者らによる日本語訳がある。<http://homepage3.nifty.com/cont/28-3/p559-68.html>)による。ただし「人間の尊厳」は同レポートでは言及されていない。

欠けているため、「リスク最小化」「リスクゼロ」の方向に努力が傾けられ、「最小を超える」リスクについての情報が十分に伝えられず、十分な情報伝達に基づく個人の意思決定の妨げとなっているのではないか、という問いかけ⁵⁾を試みた。

ところが、ICRPでこの課題を牽引してきた Jacques Lochard 氏、Christopher Clement 氏の発表では、「人格の尊重」原則と関連する「個人の意思決定」「人間の尊厳」といった概念は、チェルノブイリ原発事故後に作成された「現存被ばく状況」に関する Publication（以下、Pub.）111 で言及され、「正義」原則と関連する「公平性」は、Pub. 67 で「線量拘束値」の概念の基盤となったことが、説明された。筆者が驚きを表明すると、Lochard 氏はその「驚き」を熱意を込めて丁寧に拾い上げ、グループワークの成果として発表した。

すなわち、Pub. 111 では、原子力災害が一定のコントロール可能な状況となった「現存被ばく状況」において、被ばくによるリスクの個人における受け止め方が多種多様である中、避難所から故郷へ「帰還」することの個人や共同体としての意思決定はいかにあるべきか、これに対して放射線防護の専門家はいかに寄与できるのか、ということの詳細に分析し、勧告としてまとめている。「緊急被ばく状況」について

の Pub. 109 でも、個人の意思決定の問題が扱われている⁶⁾。また、Pub. 67 における「公平性」とは、集団にとっての線量限度から、個々人にとっての線量拘束値という考え方、計算方法を導入することで、個々人が受ける被ばくリスクの評価を公平に行えるようになった。しかし、こうした個人の意思決定や公平性の問題の、検討と実践は十分ではない、という説明であった。

2 日間にわたる、様々な観点からの発表と討議（議論の時間は10時間を超えていた）を通して、放射線防護における「倫理」の観点からの考察が欠かせないことが合意された。オーガナイザーであり TG94 メンバーの Kun-Woo Cho 氏（韓国原子力安全技術院）は、議論の成果として儒教の原則、西洋的な倫理原則、放射線防護体系の原則の関連性が示されたことを続くミラノでの WS で伝え⁷⁾、文化や宗教を超えた国際的な合意形成の可能性が示唆された。

4. 福島原発事故をめぐる倫理的考察

2013年10月に TG94 の設立が正式に承認され、同じ頃、TG94 のチェアパーソンである Deborah Oughton 氏の共編著による書籍⁸⁾が刊行された。本書は、Lochard 氏、Clement 氏など放射線防護の専門家のみならず、生命倫理を含む他の専門分野の著者も参加し、環境保護、原発事故、原発労働、核廃棄物、核実験、など

に関する論説を網羅的に収載し、今後のTG94の議論に欠かせない書籍である。

韓国での議論は福島原発問題に集中していたことから、日本人としてこの問題に取り組むべきだろうと考え、2013年12月ミラノでのWSでは福島原発問題を生命倫理の観点から考察する発表を行い、続く発表の機会でも同じ構成で、参加者との議論や状況の変化に応じて修正を加えて繰り返す形となった。

発表では、前半で生命倫理の三原則と放射線防護体系の諸問題との関連を考察し、後半で、福島原発事故の実際の状況を倫理原則に照らして考察する、というもので、3回の機会それぞれに以下のように興味深い発見があった。

◇ ミラノでのWS⁹⁾

イタリアでのWSはTG94メンバーのMarie Claire Cantone氏（ミラノ大学）がオーガナイズし、ヨーロッパからの参加者が多く、放射線防護の専門家たちによる倫理学や哲学に関する深い見識に基づく議論に驚かされた。グループワークを通して、放射線防護体系の三原則のいずれもが、生命倫理の三原則と関連しうると気づいたことが、新たな発見だった。つまり、正当化・最適化・線量限度の設定のいずれのプロセスにおいても、「できる限り安全に」という従来からの考え方（善行原則）だけではなく、様々な局面で、個人や集団の意思決定（自律原則）や、集団におけるリスクとベネフィットの公平な配分（正義原則）が関わってくるだろう、と考えた。

筆者の発表については、避難から帰還に至るプロセスにおいて、「高齢者」「子供」という両極端の「弱者」の保護という難しいバランスに立った判断や行動が求められるという論点に関心が寄せられた。

◇ クアラルンプールでのセッション

2014年5月には、マレーシアのクアラルンプールでの「アジア・オセアニア放射線防護会議」の一部に、ICRPによる倫理に関するセッションが設けられた。Clement氏と共同座長を務めたAzleen binti Mohd Zain氏（マラヤ大学医療センター）の発表では、マレーシアではIAEA（国際原子力機関）の国際基本安全基準が国内法として導入され、医学物理士が放射線安全に関する倫理審査等に必ず参加する、などの体制が紹介された。これだけ体制整備がされていたら、災害時に、放射線量とリスクに対するコミュニケーションの混乱や、避難と関連した高齢者の死亡などの問題を防げるのだろうか、と何人かのマレーシア人専門家に問いかけたが、一様に、「実際には難しいだろう」という趣旨の回答であった。

また、Zain氏を含み、多くの女性専門家がそれぞれに美しいイスラムの民族衣装で会議に参加しており（病院での日常生活では洋装であるとのこと）、朝夕に街に響くコーランにも触発され、「放射線防護と倫理」の検討、また防護政策の実践においても、宗教的・文化的要素を考慮に入れる必要があるという論点を発表に加えた。

◇ ボルチモアでのWS

米国ボルチモアでのWSは保健物理学会年会に続く形で、TG94のメンバーであるRichard Toohey氏（IRPA（国際放射線防護協会））がオーガナイザーとなって2014年7月開催された。筆者の問題意識と一致する以下の一文がToohey氏によるWS案内文にあったので、発表で引用させていただいた。「LNTモデル¹⁰⁾は慎重にという価値に基づいているが、その応用においては、個人の自律と尊厳という原則に反してしまうことがありうる。（中略、福島における高齢患者の避難に言及）このため、まず

害を成すなかれ、という医療における基本原則に反してしまうかもしれない¹¹⁾。

WSでは上記以外にもいくつかの倫理的ディレンマが論点として提示された他、医療における放射線防護やコミュニケーションについても議論された。LNTモデルや、倫理原則に照らしたICRP諸原則のより適切な運用、倫理的ディレンマが際立つ状況における放射線防護専門家の果たすべき役割などについては、今後さらに国際的に検討されていくことになると思われる。

5. おわりに

本稿ではWS参加体験記として概略をまとめたが、より正確なICRPでの議論の経緯は、本稿に紹介する文献や、佐々木康人氏による解説¹²⁾を、ぜひ参照されたい。

「放射線防護と倫理」という古くて新しい課題に、関心ある皆様からのご意見を寄せていただけること、また今後は国内でも様々な機会に議論を重ねつつ、倫理的な諸問題に対する解決策を見出していけることを、願っている。

参考文献・注

- 1) "Radiation protection is not only a matter for science. It is a problem of philosophy, and morality, and the utmost wisdom." Lauriston S. Taylor. The Philosophy Underlying Radiation Protection. Am J Roent. 1957; 77(5): 914-9. From address on 7 Nov. 1956
- 2) 栗原千絵子, 酒井一夫, 赤羽恵一, 他. 被験者放射線防護についての考え方: 第1報—日米英制度比較と国内アンケート調査から—. 核医学. 2010;47(1): 9-28. <http://www.jsnm.org/kensa/10-08-21>
- 3) 日本核医学会 放射線防護委員会. 生物医学研究志願

者の放射線防護に関する提言.

<http://www.jsnm.org/tsuutatu/11-10-28>

- 4) タイトルは "1st Asian Workshop on the Ethical Dimensions of the Radiological Protection System"で、この後の会合も "on the" 以下の部分は同じタイトル。いずれも、現地の放射線防護関連機関、大学、ICRPとIRPAが主催・共催している。また筆者の参加したもの以外にも、世界各地で同じ趣旨のWSが開催されている。
- 5) 栗原千絵子. 「研究倫理」と「放射線防護」の接点を結ぶ—日本放射線技術学会 講演記録に代えて—, 日本放射線技術学会雑誌. 2011; 67(6): 683-90.
- 6) Pub. 109, 111の日本語版は日本アイソトープ協会ホームページで閲覧できる (<http://www.jrias.or.jp/books/cat/sub1-01/101-14.html>)。Pub. 111を一般にわかりやすくまとめた電子書籍「ICRP111から考えたこと 福島で「現存被曝状況」を生きる」も閲覧できる (http://birdtaka.com/download/intro-icrp111/Intro_ICRP111_ver1_2_1.pdf)。
- 7) 太田WSで発表した中国核工業集团公司 Senlin Liu氏の成果をCho氏がmodifyしたものとして発表。
- 8) Oughton D, Hansson SO, ed. Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management. 2013; Elsevier.
- 9) このWSの発表資料はホームページで閲覧できる (<http://www.airp-asso.it/airpnews/377-etica.html>)。
- 10) 低線量の被ばくと疾患発生リスクには閾値はなく線形的な用量反応関係があるとする仮説。
- 11) 原文は "Although the assumption of the linear no-threshold model is based on the virtue of prudence, its application may lead to violations of the principles of respect for personal autonomy and dignity. (中略) This appears to have violated a fundamental principle of medical practice: first, do no harm."
- 12) 佐々木康人. ICRP放射線防護体系の進化—倫理規範の歴史の変遷—, 首相官邸ホームページ (http://www.kantei.go.jp/saigai/senmonka_g63.html)。

D-シャトルの特性と応用



株式会社千代田テクノロ
線量計測事業本部線量計測技術部

大口 裕之

1. はじめに

2011年3月の東日本大震災による東京電力(株)福島第一原子力発電所での事故は、福島県を中心に放射性物質を広範な地域に拡散させた。この放射性物質に汚染された地域で住んでいる人々は、一人一人が日常生活の中でどの程度被ばくしたかを自分たちで知りたがっている。しかし、当時は、各住民に配布できるだけの電子線量計が無く、また空間線量測定が全ての場所を測定するまでに至っていなかった。

今回、紹介する小型・軽量電子式積算線量計は、住民の要望に応えるため、(独)科学技術振興機構(JST)の先端計測分析技術・機器開発プログラムの重点開発領域「放射線計測領域」の平成24年度新規課題へ、(独)産業技術総合研究所(以下、産総研と呼ぶ)と共同で申請して認可された短期開発型の製品である¹⁾。商品名は、「D-シャトル」として2013年8月から販売を開始している。

2. D-シャトルとは

放射線の線量計は、放射線業務従事者が放射線業務のために使用することを目的として設計・製品化されているので、今回のような児童から大人までの幅広い年齢層を対象としていない。実際に一般住民に配布した利用者からは、以下のような線量計が要望されている。

①線量計としては、負担の掛からない大きさと重さが欲しい。

- ②操作が簡単で、電源押し忘れ防止機能が良い。
- ③携帯電話など様々な電磁波を発生する環境下でも、誤動作しないように電磁波防止が良い。
- ④使用中に電池切れが起きないようにして欲しい。
- ⑤線量計は、正しく校正されていることが必要。
(同一場所に同時に異なる線量計を置いた際、線量が異なる²⁾。)

これらの条件を満足する線量計を開発するために、産総研では、これまでの研究を生かして、住民に提供できる開発製品として、日々の暮らしにおける放射線量を手軽に簡単に、精度良く自分たちで測定できる電子式個人線量計の試作品を2012年2月に完成させた^{3)・4)}。これを基に製品化したのが、今回紹介する「D-シャトル」である(図1参照)。D-シャトルは、当初「Light-ct56」という製品名で2013年3月から販売を開始したが、商品名が浸透しなかったことから、2013年8月にD-シャトルと名称を変更した。



図1 D-シャトル

D-シャトルのDは、「線量 (Dose)」を意味し、シャトルは、この線量計を1年間利用した後、電池交換、校正確認のために、販売店へ返却した際、1年間の線量を報告する意味を持っている⁵⁾。

この線量計は、子供、老人を想定し、負担のかからない軽さ (23g) と大きさ (68×32×14 (mm)) を念頭に設計された半導体式積算線量計である (図2 参照)。特に、利用者が線量計のスイッチをうっかり押し忘れしないようにスイッチが無い構造となっている。使用する電池は、利用中に接触不良等が無いようにコネクタケーブル式の3Vのボタン型電池 (CR2450) 1個 (24.5mm径) を用いることで1年以上連続して線量を記録することを可能にしている。線量計のセンサーには、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、ボタン型電池1個で1年以上の電池寿命を実現するため、単3形乾電池駆動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、0.5mSv/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。携帯電話等の強力な電磁波や物理的な衝撃による誤カウントの低減を目的として、本線量計では、二重の電磁シールド機構で電磁波の影響を最小限にするとともに、衝撃ノイズに対応するため衝撃センサーを備え、衝撃があった時にカウントしないようにすることによって誤カウントを防いでいる。また、線量計に記録されたデータは、光通信と無線通信でデータ通信できるように設計されている⁶⁾。

線量計に記録されたデータを読み出す装置は、2種類を用意している。1番目は、個人が持ち運べる大きさ (68×44×37 (mm)) で、

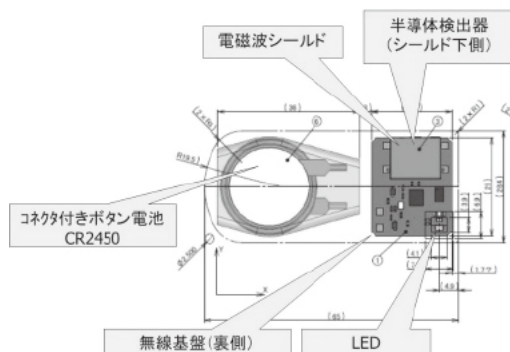


図2 D-シャトルの構造



図3 D-シャトルの表示器

重さが50gと軽い (図3 参照)。この表示器では、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。この表示器は、通常使用で5年間電池交換無しで利用できる⁶⁾。2番目は、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 μSv (γ線) の桁、平均の線量当量率は0.01 μSv/hの桁から表示できる (図4 参照)。

3. D-シャトルの特性

電子線量計は、機種によって特性が異なる。得られる測定結果の信頼性を向上させるには、線量計の特性を詳細に求める必要がある。特に線量計の応答は、放射線のエネルギーによって大きく変化するので、各エネルギーに対する線



図4 D-シャトルの読取装置

量計の応答性を求める必要がある。

図5は、飯舘村における除染前後での 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。実線は、除染前のスペクトルを示し、太字破線は、除染後のスペクトルを示している。除染前は、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs の

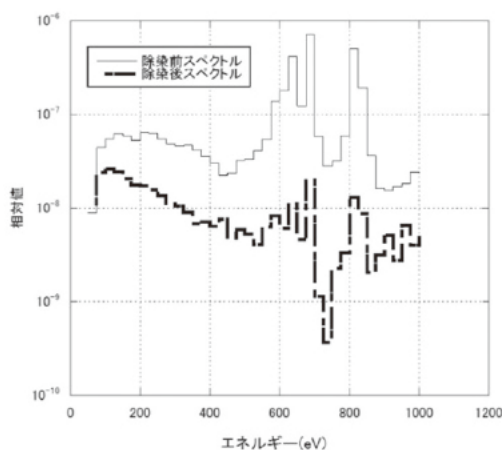


図5 除染前後におけるエネルギースペクトルの違い

660keV、800keV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100keV～200keV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思われる。

γ 線電子線量計のエネルギー特性は、一般にCs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6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。

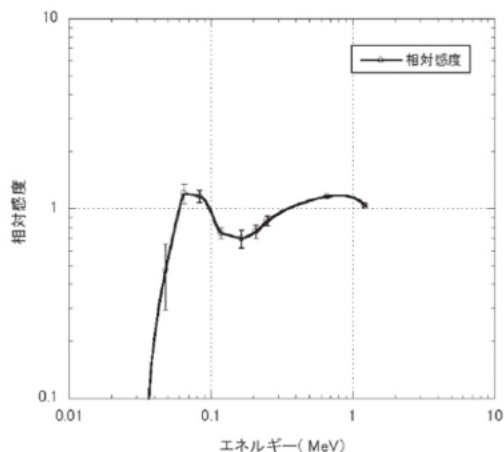


図6 D-シャトルのエネルギー特性

4. D-シャトルの展開

D-シャトルは、2014年7月時点で福島県の自治体等に14,000個以上が納入され、実際に使用されている。また、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形式のデータ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ている。特に住民の行動記録から線量が高い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ている⁷⁾。

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、様々なところで利用できる。例えば、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、携帯電話等の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⁸⁾。また、全国のバックグラウンド調査として常に携帯しておけば、後日簡単に被ばく線量を把握することもできる。

今後は、X線領域まで測定することができるように改良できれば、放射線施設等において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。また、環境用のエネルギー特性を取得すれば、環境用線量計として利用することが可能になり、さらにタブレット端末経由で無線通信を行うことができれば、放射線管理用として使用することも可能である。

5. おわりに

本稿では、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「D-シャトル」について紹介した。この線量計を携帯することで、各個人が放射線による被ばく量を日々モニターし、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、さらに個々人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ることが可能である。今後、福島県内外での住民調査など、多様な目的で線量を測る手段として期待される。

参考文献

- 1) 科学技術振興機構報第874号
<http://www.jst.go.jp/pr/info/info874/besshi1.html>
- 2) (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
- 3) 産総研プレス発表
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120213/pr20120213.html
- 4) 鈴木良一,「個人向け放射線積算線量計を開発」, 産総研 TODAY, Vol.12, No.8 p14, (2012)
- 5) 千代田テクノ「D-シャトルのご紹介」, FBNews No.445, 2014.1
- 6) 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
- 7) 早野龍五,「福島の内被ばくと外被ばく一測って伝える線量計」, 千代田テクノ FBNews No.447, 2014.3
- 8) 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

筑波放射線安全交流会(TARS)の活動について



筑波放射線安全交流会
事務局

畔柳 誠

1. 筑波放射線安全交流会とは

茨城県つくば市とその周辺地域（以下「筑波地区」）は、国、民間合わせて約300に及ぶ研究機関・企業、8つの研究・工業団地、約1万人以上の研究者を擁する国内最大級の研究開発拠点となっています（平成20年現在。国土交通省都市政策課のHPより編集）。

筑波放射線安全交流会（TARS）は筑波地区に事業所を持つ産・学・官の放射線施設の職員を会員として、筑波大学化学系教授（当時）の池田長生初代会長によって昭和62年に設立されました。本会の特徴として、放射線安全に関心のある人ならば誰でも簡単に参加でき、個人の立場で気軽に本音で話し合える会を目指しています。なお、TARSは Tsukuba Association of Radiation Safety の略称です。

現在の個人会員は、放射線障害防止法に係るRI・加速器事業所の管理者・主任者を主体に約40名、賛助会員機関は約10団体です。毎年、放射線安全教育講習会（初夏、秋）、勉強会、講演会等の活動を継続しています。本年7月には第29回総会・講演会を開催しました。今期は佐々木慎一会長（高エネルギー加速器研究機構（KEK））、奥野功一副会長（㈱安藤・間）、幹事には（独）農業環境技術研究所（農環研）、製薬会社、被ばく測定サービス会社、放射線計測機器メーカー、放射線管理（放管）サービス会社の体制です。



創立25周年記念講演会での歴代会長
（左から）坂口健哉（エーザイ株）、梶本和義（KEK）、廣瀬勝己（気象研究所（気象研））、近藤健次郎（KEK）、加藤和明（KEK）の各氏（所属は会長当時）

2. 沿革・活動

昭和60年代当時、筑波地区に移転・開設された国立研究機関はすでに40を超え、北部・西部工業団地の開発と共にRI使用施設も年々その数を増やしていました。当時、筑波地区の放射線施設には、排気濃度・排水濃度のいわゆる「10分の1規制」があり、排水の規制が特に厳しく、これにどう対処したら良いか等が関心の高い話題でした。そこで、民間企業の有志から、放射線管理の勉強会や情報交換の場を設けてはどうかという要望が強くなりました。これを受けて、昭和62年夏頃から大学、研究機関、企業等の有志十数名が設立に向けて準備を開始し、9月に設立総会が開催されました。

個人会員数は、設立当初は36名からスタートし、次第に増加して昭和63年には88名、平成元年には100名を超え、盛況となりました。

当会の活動は、①月例勉強会を開催して放射

線管理上の諸問題（立入検査での改善指摘事項の対応、RI廃棄物の取扱いなど）の意見交換を行い、その他に、②水戸原子力事務所（当時）のご担当者との意見交換など年2回講演会等を開催していました。また、③TARSニュースを定期的に発行して会員の施設・放射線管理の工夫などを紹介して交流を促進しました。さらに、④会員施設の見学会や懇親会も随時開催しています。

平成15年頃からRI事業所の移転・廃止が進み、個人会員数が減少に転じて平成18年以降は40名前後で推移しています。近年の活動は、①放射線安全教育講習会（初夏、秋）と、②総会・講演会が主たる内容となり、活動のパワーが落ちてきたことは否めません。個人会員数の推移を図に示します。

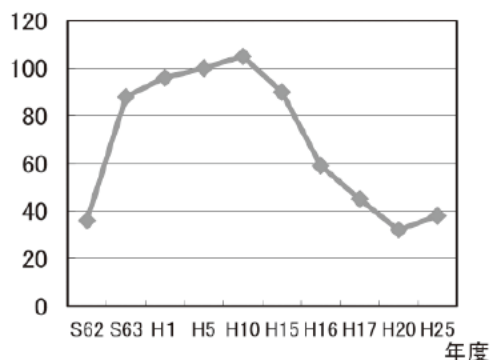


図 個人会員数の推移

最近の活動から紹介すると、東京電力㈱福島第一原子力発電所事故後の創立25周年記念講演会（平成23年7月）では、参加費を無料に

して一般に公開し、会員研究機関やつくば市から「福島原発事故に関する活動の報告」を行いました（気象研、筑波大学、KEK、農環研、つくば市、茨城県立医療大学、東京ニュークリア・サービス㈱、㈱千代田テクノル）。また、日常の活動としては、放射線障害防止法の改正対応や研究機関に共通の話題について適宜勉強会を開催し、最近では「エックス線発生装置の管理」や「福島事故由来試料の取扱い」などについて意見交換を行いました。

3. 今後の活動

筑波地区にはRI・加速器事業所数がまだまだ多く、筑波大学、KEK、(独)産業技術総合研究所、(独)宇宙航空研究開発機構（JAXA）、(独)理化学研究所など、外来者を受け入れてRI等を使用する大規模事業所があります。例えば、外国人・一時立入者の取扱いや外国人教育、エックス線発生装置の管理など事業所に共通する悩みや課題を気軽に情報交換できる場を提供し、また、講演会の記録や集まった情報を会員に有効に利用して頂けるように工夫していきたいと考えています。

つくば市とその近隣の個人、団体、企業の方でTARSの活動に参加をお考えの場合は、下記の事務局までお問い合わせ願います。

【事務局】 東京ニュークリア・サービス㈱
業務管理・企画部
畔柳 誠（クロヤナギ マコト）
kuroyanagi@tokyo-nucl.co.jp

固着性表面汚染の除去に向けたイメージングプレートの利用



信州大学
ヒト環境科学研究支援センター

廣田 昌大

1. はじめに

物体の表面に放射性物質が付着した表面汚染は、遊離性汚染と固着性汚染に区別される。一般的に、表面汚染は、サーベイメータを用いて汚染の範囲を特定し、汚染が遊離性の場合は拭き取るや洗浄するといった方法によって、また、固着性の場合は削り取る若しくは除去剤を用いて溶解させた後拭き取るといった方法によって除染される。除染するにあたっては、固着性表面汚染は、遊離性表面汚染と比べて労力を要するので、効率的に除染するためには、汚染の位置を特定することが重要となる。

イメージングプレート（IP）は、医療用X線フィルムの代替として開発された二次元分布放射線検出システムである。IPは、指示体層、蛍光体層、保護層の3層からなり、蛍光体層が放射線エネルギーを吸収することによって、放射線を検出する。蛍光体層に蓄積された放射線エネルギーの分布は、一般的に潜像といわれる。IPシステムは、IP、イメージアナライザ、残像消去器、コンピュータからなり、X線をはじめ、 α 線、 β 線、 γ 線、中性子線等の放射線を幅広いエネルギー範囲に渡って検出することができる、X線フィルムと比べて約1,000倍の感度を有する、潜像を消去することによって繰り返し使用することができる等の特長を持つ。現在、IPシステムは、大学や研究所等の放射線施設の多くに導入されており、オートラジオグラフィや電子顕微鏡、X線回折、放射線計測等

の分野で幅広く使用されている。既にIPシステムを、表面汚染測定をはじめ、漏洩線量測定、個人被ばく線量測定、体内汚染モニタリング等の放射線防護測定に応用する研究がいくつか報告されている。

これまでの表面汚染測定に向けた研究においては、IPシステムを用いて汚染の分布状況を示した画像が得られる、表面密度を測定することができるといったことが報告されているが、さらに、IPシステムを用いて取得した汚染画像から、実際の位置を正確に特定する方法を考案したので、IPシステムの放射線防護測定における活用例の1つとして報告する。

2. 方法

2.1 IPの校正

IPシステムは、コンピュータ画面上に表示された画像上に関心領域（ROI）を設定することによって、入射放射線量と比例する値（Linear arbitrary unit (LAU) 値、又はPhoto-Stimulated Luminescence (PSL) 値）を求めることができる。IPには、蛍光体層に形成された潜像が時間とともに減衰するフェーディング現象がある。このため、照射時間や照射終了後読み取りまでの時間を管理する等のフェーディング対策が必要となるが、LAU値、又はPSL値を計数として用いることによって、IPを放射能測定器として使用することができる。本報では、LAU値を計数として使用し、表面汚染密度を評価した。

今回、除染を試みた試料は、表面に酢酸ウランが固着したストーンテーブルである。このストーンテーブルは、サーベイメータによる汚染検査の結果、正味計数がバックグラウンド(BG) 計数の σ を超える箇所が複数発見されたことから、養生した上で10年以上に渡って管理区域内に保管されていたものである。このため、今回、IPシステムを使用するにあたって、 ^{234}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U 及びそれらの壊変生成物からなる α 線標準面線源(日本アイソトープ協会製)を用いて校正を行った。この標準面線源のサイズは $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ であり、表面密度は 4.81Bq cm^{-2} であった。

IP(富士フイルム(株)製 BAS-MS2040; $20\text{cm} \times 40\text{cm}$)を、照射のために標準面線源に60分間密着させた後、照射終了10分後にイメージアナライザ(富士フイルム(株)製 FLA-9000 Starion)を用いてIPを読み取り、面線源の像を取得した。面線源の像を囲むように $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の正方形のROIを設定し、面線源に対する計数 N を求めた。また、IP画像において面線源の像が形成されていない部分に同様のROIを設定し、BG計数 N_B を求めた。そして N 、 N_B を式(1)に代入することによって、IPのウランによる表面汚染に対する計数-放射能換算計数 C_C を求めた¹⁾。なお、 C_C は、一般的な放射線測定器の計数効率に相当するものである。

$$C_C = \left(\frac{N/S - N_B/S_B}{A \times t} \right) \dots (1)$$

ここで、 A は標準面線源の表面密度(Bq cm^{-2})、 t は照射時間(s)、 S 、 S_B はそれぞれ N 、 N_B を求めた際に用いたROIの面積(cm^2)を示している。さらに、これらを式(2)に代入することによって、検出限界 L_D を求めた²⁾。

$$L_D = \frac{3 + 4.65\sqrt{N_B/S_B}}{C_C \times t} \dots (2)$$

実際の表面汚染に対しては、IP画像上において、汚染像を囲むようにROIを設定することによって N を求めた。また、汚染像が形成されていない部分にROIを設定することによって N_B を求めた。そして、 N 、 N_B 、 S 、 S_B 、 C_C を式(1)に代入することによって汚染箇所の表面密度 A を算出した。

2.2 汚染像の取得から除染までの手順

図1は、汚染像の取得から除染までの手順を示している。汚染像の取得から除染までは、[I] 汚染エリアの特定、[II] 汚染像の取得、[III] 画像解析と画像の印刷、[IV] 汚染位置の特定、[V] 除染の手順で行った。そしてストーンテーブル上の表面汚染が全て除去できるまで、本手順を繰り返し行った。

[I] 汚染エリアの特定：ZnSサーベイメータ(日立アロカメディカル(株)製 TCS-222)及びGMサーベイメータ(日立アロカメディカル(株)製 TGS-133)を用いてストーンテーブルに対して汚染検査を行い、汚染が見られるエリアを特定した。[II] 汚染像の取得：特定された

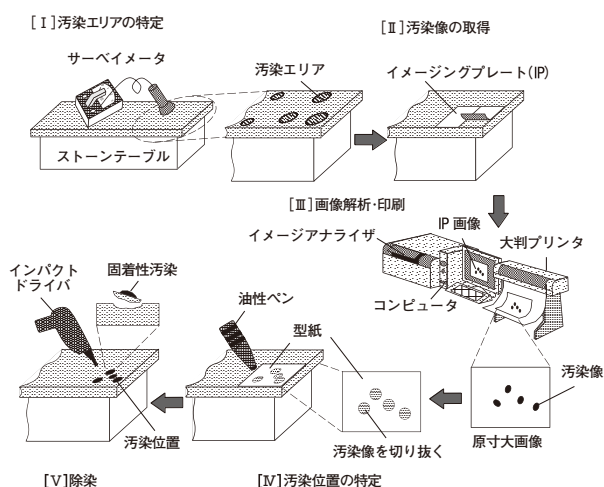


図1 汚染像の取得から除染までの手順

汚染エリア上にIPを60分間密着させた後、照射終了10分後にイメージアナライザを用いて読み取り、汚染像を取得した。[Ⅲ] 画像解析・印刷：それぞれの汚染像の N 並びに N_B を求めた後、汚染密度を算出した。また、ポスター印刷用の大判プリンタ（セイコーエプソン(株)製PX-9000)を用いてIP画像を原寸大で印刷した。[Ⅳ] 汚染位置の特定：印刷された原寸大画像において汚染像が形成された部分を切り取り、ストーンテーブル上において汚染の位置を特定するための型紙を作成した。続いて、ストーンテーブル上において、汚染像取得の際にIPが置かれた位置と同じ位置に型紙を置き、型紙の穴の位置に油性ペンで印を付けることによって、汚染位置を特定した。[Ⅴ] 除染：インパクトドライバを用いて、ストーンテーブル上の印が付けられた箇所を破損させないように刳り貫くことによって、汚染を除去した。

全ての汚染が除去された後、再びIPを用いて汚染エリアの画像を取得するとともに、ZnS及びGMサーベイメータを用いて汚染密度を評価することによって、汚染の有無を確認した。

3. 結果及び考察

3.1 IPシステムの校正

IPシステムの α 線標準面線源に対する計数－放射能換算計数 C_c は $50.5 \text{ LAU Bq}^{-1}\text{s}^{-1}$ 、検出限界 L_D は $2.5 \times 10^{-3} \text{ Bq cm}^{-2}$ であった。IPシステムの L_D は、 α 線放出核種に関する表面密度限度 4 Bq cm^{-2} よりも十分に低く、また、IAEA-TECDOC-855において示されている原子力施設の建屋を再利用する場合の ^{238}U に対するクリアランスレベル 0.2 又は 1.0 Bq cm^{-2} よりも低い値であった³⁾。さらに、 α 線放出核種用のZnSサーベイメータの L_D ： 0.048 Bq cm^{-2} の $1/20$ であった。IPシステムの L_D は、酢酸ウラニルによる表面汚染の表面密度を評価するうえで、

十分な感度を有していた。ただし、IPの L_D は照射時間が長くなるにつれて低下することから、照射時間が今回の60分とは異なる場合には、 L_D を改めて評価する必要がある。

3.2 汚染像の取得から除染まで

ストーンテーブル上において、サーベイメータの正味計数がBG計数の σ を超える箇所が5箇所見つかり、これらの箇所を汚染エリアとした。なお、汚染エリアの表面密度 A は、ZnSサーベイメータによる評価では $0.17 \sim 0.53 \text{ Bq cm}^{-1}$ となり、 β 線放出核種用のGMサーベイメータによる評価では、検出限界 0.35 Bq cm^{-1} 以下となった。

図2は、IPによって得られた汚染像を示している。サーベイメータによる汚染検査では、汚染は面状に分布していると思われたが、IPを用いて汚染を検出した結果、汚染は、サーベイメータで特定された汚染範囲内に点在していることが分かった。汚染像ごとに 1 cm^2 の円形のROIを設定して計数 N を、また、画像上の汚染が見られない箇所に同様のROIを設定してBG計数 N_B を求めた。これらを式(1)に代入することによって各汚染箇所の表面密度 A を算出した結果、最大値は 10.4 Bq cm^{-2} となった。IPを用いて評価された A は、サーベイメータを用いて評価された場合と比べてかなり高かった。サーベイメータの場合、 A は汚染の放射能を窓面積で除すことによって求めるが、IPシステムの場合、汚染の放射能をROI面積で除すことによって求める。ZnSサーベイメータ及びGMサーベイメータの窓面積がそれぞれ 72.5 cm^2 及び 19.6 cm^2 と大きい一方、ROIの

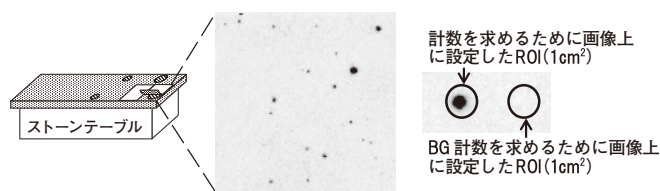


図2 IPによって得られた汚染像

面積は汚染像とほぼ同じ大きさであることから、今回のように、汚染が点在していた場合には、サーベイメータを用いて求めた表面密度は、小さい値となる。このことから、IPシステムは、サーベイメータと比べて、より信頼性の高い表面汚染測定を行うことができると

考えられる。しかしながら、表面汚染測定に要する時間は、IPシステムはサーベイメータよりも長くなることがあるため、全ての表面汚染測定にIPシステムを用いることは現実的ではない。例えば、サーベイメータによる汚染検査で、汚染や汚染が疑われる箇所が見つかった場合や、放射線施設の廃止や管理区域の解除の際の汚染検査のように、より慎重に実施しなければならない場合等に、IPシステムも用いることが有効であると考えられる。

図3は、①ストーンテーブル上に置かれた型紙、②テーブル上の汚染箇所につけられた印、③汚染箇所が除去されたテーブル、そして、④テーブルから取り除かれた汚染片を示している。従来のサーベイメータを用いた方法では、点在する表面汚染は面状に分布していると認識するほかなかったため、除染するにあたって汚染エリア内全面に対して除染作業を行う必要があった。しかしながら、IPを用いる方法では、汚染の位置や範囲を正確に把握できるため、汚染箇所だけを限定して除去することができた。さらに、1度の除染作業で全ての汚染箇所をもれなく除去することもできた。これらのことから、除染作業を効率的に進められるようになったとともに、除染によって発生する放射性廃棄物の量も少なくて済んだ。また、汚染の位置が明確であったことから、汚染部を破損させることなく、ストーンテーブルから除去することが可能となった。このため、汚染が飛散する危険性を低減することができる等、除染作業時の安全性確保においても一定の効果が確認できた。

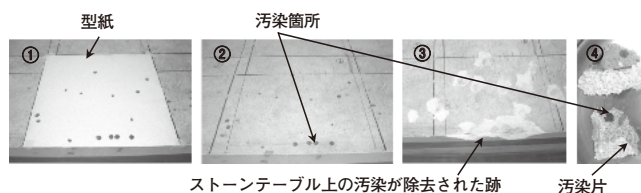


図3 ①ストーンテーブル上に置かれた型紙、②テーブル上の汚染箇所につけられた印、③汚染箇所が除去されたテーブル、④テーブルから取り除かれた汚染片

4. まとめ

(i) IPを用いて固着性表面汚染の画像を取得する、(ii) 大判プリンタを用いて画像を原寸大で印刷する、(iii) 原寸大の画像の汚染像が形成された部分を切り取り、型紙を作成する、(iv) 型紙を、画像取得時のIPと同じ位置に置き、切り取られた部分に対して印を付ける、以上、(i)～(iv)を行うことによって汚染の位置を正確に特定することができた。

汚染の位置が特定されたことにより、汚染箇所を限定して除去できるようになったため、除染作業を効率的に進められるようになった。また、汚染の位置が明確であることにより、汚染部を破損させることなく除去することが可能になるため、汚染の飛散を低減することができる等、除染作業時の安全性確保においても効果が見られた。

IPを定量測定に使用する場合、照射時間や照射終了後読み取りまでの時間を管理する等のフェーディング対策が必要となるが、照射時間が60分、照射終了後読み取りまでの時間を10分としたとき、IPの α 線標準(ウラン)面線源に対する検出限界は $2.5 \times 10^{-3} \text{ Bq cm}^{-2}$ であり、IPはウランによる表面汚染に対して十分な感度を有していた。

参考文献

- 1) Nishizawa K, Saze T. Radiat Safety Manage 2: 33-34; 2003.
- 2) Currie LA. Anal Chem 40:586-593; 1968.
- 3) International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA-TECDOC-855; 1996.

「日本アイソトープ協会」ご入会のお誘い

(公社)日本アイソトープ協会

公益社団法人日本アイソトープ協会はわが国の科学技術の振興に資するため、アイソトープ・放射線の利用に関する技術の向上及び普及を図ることを目的として、その利用並びに放射線障害の防止に関する調査研究、関係専門分野間の連絡、知識、技術の普及・啓発、アイソトープの供給、廃棄物の廃棄受託など、関連する全分野にわたって活発な活動を展開しています。

アイソトープ協会では理工学部会、ライフサイエンス部会、医学・薬学部会及び放射線安全取扱部会の4つの部会を置いて会員相互の研究連絡、普及啓発等の学術活動を行っています。

放射線安全取扱部会は、放射線取扱主任者の地位向上のみならず、放射線障害の防止と公共の安全・安心の確保に寄与する活動を行っています。最近の活動としては、1. 全国7支部における研修会、勉強会、見学会及び法定の教育訓練講習会の開催 2. 事業所内教育訓練のための講師派遣 3. 放射線管理に必要な情報の収集と広報等を行っています。

アイソトープ・放射線を取り扱われる方、放射線安全管理に携わられている方、アイソトープ利用・安全管理に関心をお持ちの方、是非当協会の目的にご賛同いただきご入会のうえ、放射線安全取扱部会にご参加下さいますようお願いいたします。

会員には個人正会員、団体正会員、学生会員、賛助会員の4種類があります。ご入会いただきますと下記の特典がございます。

① 広報誌「Isotope News」を毎月無料でお送りいたします（個人正会員、学生会員：1部 団体正会員：3部 賛助会員：5部）。アイソトープの利用や放射線管理に関する最新のトピックス、行政の動きなど、実務に役立つ情報をお届けします。

② 学術誌「RADIOISOTOPES」を会員割引価格で購読（個人正会員、学生会員）できます。

年間購読料 会員6,000円 会員外11,000円
団体正会員、賛助会員の場合は、会費に購読料が含まれております（団体正会員：2部 賛助会員：3部）。投稿論文（会員、会員外を問わない。）を主体とし、アイソトープ利用に関する全分野を網羅する学際学術誌です。

本誌は、平成26年7月から、(独)科学技術振興機構が運営するJ-STAGEのサイトにおいて、オープンアクセスとなりました。

③ 出版物を会員割引価格（定価の約1割引）で購入できます。法令集、入門書、実務マニュアル、ICRP 邦訳版等、関係者必携の図書を多数刊行しています。

④ 研修会、勉強会等に会員割引（法定の講習会を除く）で参加できます。入門者向け講習会、放射線業務従事者向け教育訓練、主任者研修会、学術講演・見学会などを随時開催しています。

⑤ “Isotope News”の求人・求職欄へ無料で掲載できます。

入会金、年会費は下記のとおりです。

	入 会 金	年 会 費
個人正会員	1,000円	4,000円
学生会員	—	1,000円
団体正会員	10,000円	27,000円
賛助会員	20,000円	81,000円

ご紹介いたしましたほかにも特典がございますので、詳しくは下記にお問い合わせ下さい。

担当係 企画運営本部総務部総務課会員係
電話 03-5395-8021 FAX 03-5395-8051

E-mail kaiin@jrias.or.jp

URL <http://www.jrias.or.jp>

発行日 平成26年9月1日

発 行 公益社団法人日本アイソトープ協会
〒113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45

(連絡先) 企画運営本部学術振興部学術・出版課
電話 03-5395-8081 FAX 03-5395-8053

E-mail gakujutsu@jrias.or.jp