

# USB 駆動型 PSF 空間線量当量率測定システムの実用化と測定実績

蒲生 秀穂  
Gamo Hideho

## 1. 概要

福島県等の環境回復には放射性物質により汚染された地域の除染が急務である。この除染を合理的に行うためには、除染前後の汚染分布の詳細な把握が重要である。筆者らは、光ファイバを放射線センサとして用いた USB 駆動型 PSF 空間線量当量率測定システムを実用化した。本測定システムは、最大 20 m の光ファイバに沿った線量当量率（以下、線量率と略す。）分布を測定でき、平行移動すれば面分布も得ることが可能である。さらに、測定が短時間で済むことから、今後の環境回復の一翼を担うことが期待されている。

本稿では、本測定システムの開発内容及び汚染された地域での適用状況について紹介する。

## 2. 背景

2011 年 12 月 28 日、環境省は国から除染の財政支援が受けられる“汚染状況重点調査地域”及び国が直接除染する“除染特別地域”を指定した。その後、指定された市町村の数は若干の増減があったものの、依然として 112 市町村が指定されている（図 1）。除染対象の地域は非常に広大で、農地、宅地、学校など様々な場所がある。このような状況の下、①広大な面積を短時間で測定したい、②壁面、樹木等の人々が容易に立ち入れない場所（高所）を測定したい、③河川、ため池など水中を測定したいとい



図 1 環境省が除染に向けて指定した市町村  
(2012 年 12 月 27 日 現在)

ったニーズがあった。

これらの対応として、筆者らは光ファイバ放射線センサ（プラスチックシンチレーションファイバ：PSF）と飛行時間法を組み合わせた計測技術に注目した。この技術を用いると、線量率分布測定が可能であるほか、PSF を水没させれば水中の測定も可能であることも利点である。

## 3. 測定システムの実用化へ向けた取組み

### (1) 装置の構成

PSF と飛行時間法を組み合わせた測定（以下、“PSF 測定”）の装置構成は、放射線センサ

\*放射能測定・除染技術等に関する調査検討専門委員会

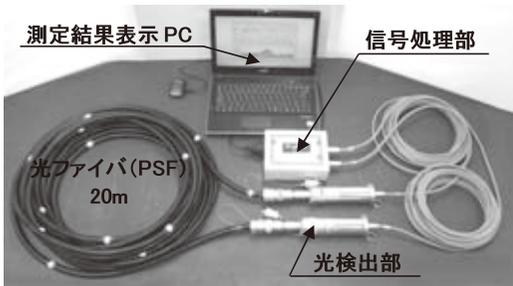


図2 測定システムの外観

である PSF 部，光検出部，信号処理部，測定結果表示部（PC）からなる（図2）。測定原理の詳細は文献1）に譲るが，大まかに述べると以下の通りである。PSF において放射線との作用で発生した蛍光パルスが光検出部で電気信号に変換され，信号処理部において飛行時間法により位置情報に変換される。また，そのイベントが単位時間当たり何回発生するかによって放射線の強さが計測できる。

(2) 従来装置の課題

PSF 測定技術は，特段目新しいものではなく，約 20 年前に東京大学と動力炉・核燃料開発事業団（当時）が共同で開発したものであった<sup>2)</sup>。しかし，従来の PSF 測定装置は，①測定装置が大きくて重いため可搬性が悪い，②配線や計器の設定が複雑なため計測の専門家でない取り扱いえない，③装置が非常にデリケートなため屋外で使用できない，④商用電源又は発電機が必要，⑤測定感度が低い，という課題があり，そのままでは屋外の環境測定には適用できるものではなかった。したがって，高感度化，大幅な小型軽量化，省電力化，耐環境向上（剛性，防水・防塵）が必要となった。

(3) 汚染地域向けに実施した改良

① PSF 部

センサの PSF 部においては高感度化と剛性化が実施された。福島県等の線量率を鑑みると，ターゲットとなる測定レンジは 0.1～100  $\mu\text{Sv/h}$  となる。放射線計測の原理上，低い放射線レベルの測定には時間が掛かる。これを回避



図3 PSF のラインナップ  
(左から高感度，標準，低感度)

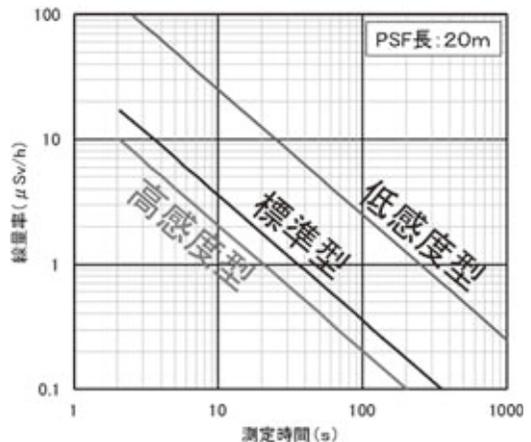


図4 測定対象の線量率と測定時間

するため，バンドル数（すなわち感度）が異なる PSF を 3 種類用意し，コネクタで容易に取替え可能とした（図3）。バンドル数は，高感度型が 12 本，標準型が 7 本，低感度型が 1 本である。測定対象の線量率とその場の測定に必要な時間の関係を図4に示す。低い線量率を短時間で測定したい場合には，感度の高い PSF を選択する。これにより，ターゲットとした全測定レンジで測定時間 200 秒以内が実現された。また，PSF 部は過酷に取り扱われることが容易に想像されるため，金属フレキ管に挿入し剛性化も図られた。

② 光検出部

光検出部は，PSF で発生したシンチレーション光を光電子増倍管（PMT）で電気信号に変換し，アンプで信号を増幅する。PMT とアン



図5 アンプと一体化した光検出部

プは可搬性向上のため一体化し、ケーブルは信号出力と電源を複合した複合ケーブルを採用することにより、ケーブル本数が低減された(図5)。

### ③信号処理部

PSF測定装置の心臓部ともいえる信号処理部は、従来はNIM計器(Nuclear Instrument Modules)の組み合わせで構成されていた。このため、信号処理部の重量はおよそ20kgにもなり、更に100Vの交流電源が必要であるため屋外で使用するには発電機やバッテリーが必要であった。したがって、屋外の環境測定に適用するにはあまりにも可搬性が悪かった。そもそも屋内仕様のため、埃等に対してデリケートで、汚染地域のような吹きさらしの屋外で使うには無理があった。

PSF測定システム全体の小型軽量化には、信号処理部の改良がキーポイントである。そのため、機能や性能の絞込みが行われた。従来のNIM計器は、数多くの調整ツマミや入出力コネクタにより、様々な測定ができるようになっている。しかし、PSF測定だけを実施したいユーザーにとっては、非常に複雑な装置となっていた。そこで、PSF測定に特化した信号処理回路とすることで機能を絞り、徹底的な簡略化が図られた(図6)。

これにより、従来装置では電気信号や電源として12本のケーブルが必要であったところ、3本に低減された。また、ユーザーによるボタン操作や調整が不要で、ケーブルを接続して専用のソフトを起動するだけでPSF測定が可能となった。また、従来20kg程度あった信号処理



図6 従来のPSF測定装置の信号処理部(左)と本測定システムの信号処理部(右)

部の重量が550gに軽減された。消費電力も改善され、本測定システムはノートパソコンのUSB電源のみで動作することが可能となった。発電機やバッテリーが不要となったことで、可搬性が格段に向上された。さらに、この簡略化により信号処理部の製造コストも大幅に低減された。

なお、雨や埃に耐えられるよう、本測定システムの信号処理部は防水・防塵ケースに収納し、屋外での使用が可能となっている。

### ④線量率への換算等

本測定システムを汚染地域の測定に使用するため、線量率への換算、位置分解能、本測定システムの計数率と線量率との線形性を確認した。順に具体的に述べる。

信号処理部から出力される生データは、PSFの位置に対応する計数率である。しかしPSFの中心部で感度が高く、両端部では感度が低いという特徴があるため、線量率に換算する際には、感度の不均一性を考慮した換算を行った。位置分解能は、密封線源をPSFに密着させて、ピークの半値巾で0.5m程度とホットスポットの検知に十分な性能であることを確認した。計数率と線量率との線形性は、密封線源( $^{137}\text{Cs}$ )による $\gamma$ 線をPSFに均一に照射して確認した。低感度型は0.1~100  $\mu\text{Sv/h}$ 、標準型は0.1~20

$\mu\text{Sv/h}$ 、高感度型は  $0.1\sim 10\ \mu\text{Sv/h}$  の範囲において線形性が確認された。以上により、汚染地域を測定するための性能が十分であることを明らかにした。

## ⑤線量率マッピングソフト

汚染地域の方々へ測定結果を説明する場合や、現場で実際に除染作業に従事する方々の理解の助けとなるには、測定結果の可視化技術が必須である。誰もが直感的に理解できる線量率のマッピングを提供するため、本測定システム専用のソフトウェアが開発された。

このソフトは、航空写真、宅地地図等の各種電子地図をサポートしており、本測定システムの測定結果を地図上にカラー表示でプロットできる。また、複数の測定データや測定時の写真を一括管理できる。例えば除染前と除染後など、測定時期ごとに表示すれば除染効果の確認に有効である。さらに、測定時に撮影した写真に、本測定システムの測定結果をカラー表示で貼り付けるような機能もあり、これを使えば航空写真や地図には表示できない垂直方向の線量率分布を表すことが可能である。これらの機能により、視覚的に分かりやすい測定結果の報告書が作成可能となった。

## 4. 測定実績

福島県を中心に宮城県から都心にかけて17か所で測定を実施した。その中から一部を紹介する。これは、除染・廃棄物技術協議会の除染技術分科会の一環として実施したもので、協議会が本年4月に公開した手引書<sup>3)</sup>にも取り上げられている。

### (1) 公民館の測定

公民館の敷地約  $80\text{ m}\times 60\text{ m}$  において、 $20\text{ m}$  長のPSFを装備した本測定システムで建物周囲、駐車場、敷地境界を測定した。除染前後の測定結果を図7及び図8に示す。これは前述のソフトウェアで作成した報告書である。各点の色は測定結果を示し、その間隔は  $1\text{ m}$  である。 $20\text{ m}$  のPSFを用いているので、1回の測定結

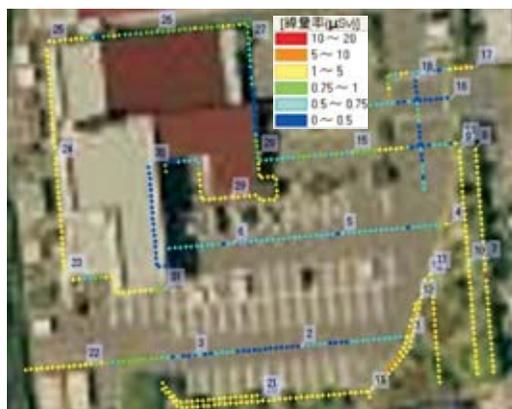


図7 除染前



図8 除染後

果は20個の点列として表示される。同時に実施していた通常のサーベイメータによる測定では見落としていたホットスポットを、本測定システムでは容易に確認できた上、 $20\text{ m}$  分の測定は除染前は60秒、除染後は120秒と短く、従来手法と比べあまりの測定時間の短さに周囲から驚きの声が上がった。なお、NaIサーベイメータとの比較を行い、本測定システムの測定値の妥当性も確認した(図9)。

### (2) 小学校プールの測定

現場は除染実施済みの小学校である。教員や保護者の方々が見学に訪れている中、PSFを水泳プールに水没させ測定を行った。線量率分布

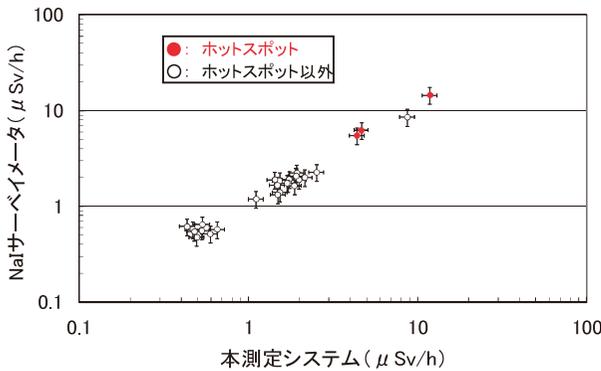


図9 NaI サーベイメータとの比較

は概ね 0.05  $\mu\text{Sv/h}$  を示し、その場にいた教員の方から、「これで保護者の方々に安心していただける」と評価をいただいた。

## 5. まとめ

USB 駆動型 PSF 空間線量当量率測定システムの実用化によって、従来取り扱いが困難であった PSF 測定装置が、誰もが簡単に使える測定装置となった。また、PSF はフレキシブルに曲げられるため適用範囲も広い。例えば高所は支持棒に装着、道路などの広い地面は車両に装着などの工夫で、測定 of 能率が向上する。

本測定システムはホットスポット検知にも威力を発揮する。実際、筆者らが現場に赴くと「ホットスポットがあるかもしれない。ここも測ってください。次はこっち。」というように、次から次へと依頼される状況に触れた。ホットスポットへの不安は少なくなく、本測定システムがこうした不安解消の有力な手段になると確信している。

環境省によると、2012 年度末の福島県内の

除染の進捗状況は住宅 12%、道路が 17% の進捗率にとどまっている<sup>4)</sup>。除染がなかなか進まないのは、除染で削り取った土壌などの仮置場が確保されないことが主要因と聞いている。本測定システムであらかじめホットスポットを検知し、その場所を重点的に除染するなどで廃棄物の発生抑制、ひいては除染実施の加速にもつながるのではないかと期待する。早期に住民の方々が帰宅され、被災地域が復興することを願ってやまない。

なお、本測定システムは、(株)テクノロジーピーから、商品名 D-phod (Detector for Photon Dose: デイヤー・フォード) として販売されている<sup>5)</sup>。

## 参考文献

- 1) Gamo, H., *et al.*, Development of a PSF-detector for contaminated areas, Proceedings of 12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-12), Nara, Japan, September 2-7 (2012)
- 2) Emoto, T., Torii, T., Nozaki, T., and Ando, H., Measurement of spatial dose-rate distribution using a position sensitive detector, Proceedings of the 8th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses, KEK, Tsukuba, Japan, January 25-27 (1994), KEK Proceedings, **94-7**, 119-125 (1994)
- 3) 除染・廃棄物技術協議会, 除染効果確認のための放射線測定手引書, <http://tacrwj.jp/>
- 4) 福島県内市町村除染地域における平成 25 年 4 月末時点での除染実施状況等について, [http://josen.env.go.jp/zone/details/fukushima\\_progress.html](http://josen.env.go.jp/zone/details/fukushima_progress.html)
- 5) 日立ニュースリリース, <http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2012/05/0524b.html>

(日立 GE ニュークリア・エナジー(株))