

面で捉える汚染分布の測定技術 —ファイバー検出器による放射性セシウムの 測定—

鳥居 建男, 眞田 幸尚

Torii Tatsuo Sanada Yukihisa

1. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下、福島原発事故という)によって環境中に拡散した放射性セシウムの影響を取り除くため、セシウムで汚染された地域で除染作業が行われている。除染の効果の確認は、サーベイメータ等を用いて除染前後の代表点を測定することで行われているが、多大な時間と労力を要する作業となっている。

最近、短時間で広いエリアの放射線を測定するために、プラスチックシンチレーションファイバ(Plastic Scintillation Fiber, 以下 PSF という)を用いた測定法が福島県内の汚染地域で適用されている。この PSF は、1980 年代に高エネルギー物理の分野で荷電粒子の飛跡測定等を目的として開発された¹⁾。その後、飛行時間差(TOF)法と組み合わせることによって、線量率分布の測定用に開発、利用されてきた^{2,3)}。近年、納富らは、PSF を用いた線量率分布測定システムを原子炉周りで原子炉からの放射線を照射することによって、中性子と γ 線の混合場で使用できることを実証した⁴⁾。また、高田らは、レートメータと組み合わせることにより、位置検出型のエリアモニタとしても応用している⁵⁾。

このように PSF に TOF 法を適用した本技術は、原子力施設内で放射線分布の測定等に使用がされてきたが、広い範囲を連続的に測定する

ニーズがあまりなかったこともあり、広く普及することはなかった。しかしながら、福島原発事故以来、放射性セシウムにより汚染されている地域では、従来のサーベイメータによる“点”の測定では汚染の全体像をつかむことは難しいこともあり、PSF を用いた放射線測定システムが除染現場をはじめ、樹木や建物の壁等これまでサーベイメータによる測定が困難な場所での測定にも使用されている⁶⁾。また、PSF にマッピングソフトウェアを付加したシステムが、除染効果を“面”的に評価できることから、除染現場だけでなく様々な分野での使用が期待されている⁷⁾。

本稿では、(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 2012 年度採択課題「シンチレーション光ファイバーを用いた 2 次元マッピングシステムの実用化開発」で得られた成果を中心に PSF を用いた放射線分布測定技術を紹介する。

2. 測定システム

PSF を用いた放射線分布測定システムの構成を図 1 に示す。検出部は、中芯部(コア)に放射線に有感なポリスチレンを母材としたものを、コアを囲むクラッドに PMMA (Polymethyl methacrylate) を使用した直径 1~2 mm、長さ 5~20 m 程度の PSF で構成される。この PSF を複数本束ねて、ビニールチューブで覆うことにより遮光し、その両端に光電子増倍管を接続したものを使用する。PSF 内に放射線が入射する

*放射能測定・除染技術等に関する調査検討専門委員会

とシンチレーション光を発生してファイバーの両端に伝搬するが、入射位置によりファイバーの両端への光の到達時間が異なる。この時間差を両端に設置した光電子増倍管 (PMT) により電気信号に変換して、放射線の入射位置を特定する (TOF法)。この時間差は、検出部からの信号を処理する TAC (Time to Amplitude Converter) を用いて時間情報から波高情報に変換される。さらに、TAC から出力される信号を MCA に入力し、放射線の入射位置を示す位置のスペクトルとして表示させている。これらのデータを処理する計測部は、FPGA (Field-Programmable Gate Array) 上に構成され、一体型になっているものもある。システムの構成例を図 2 に示す。この図のシステムは、検出部とデータ処理部をつなぐケーブル、コネクタは防水構造となっており、後述するように水中でも使用することができる。 ^{137}Cs の線源を使用した PSF の応答特性や位置による感度分布の測定結果例を図 3 に示す。ここでは 10 本バンドルで 20 m の PSF を使用している。図に示すように、ファイバーの中央部分が最も計数率が高く (30% 程度感度が高い)、両端に近づくほど感度が下がる傾向にある。現場測定では、ファイバーの長さごとに求めた照射試験結果を基に関数式を求めて感度補正している。

PSF の計数率から、空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) や放射性セシウムの沈着量 (kBq/m^2) への換算は、PSF の長さやバンドル数で異なるため、実際の現場でサーベイメータによる実測値と比較して換算している。この結果、PSF とサーベイメータの測定結果は、図 4 のような相関を示している。

除染現場での PSF の適用に際

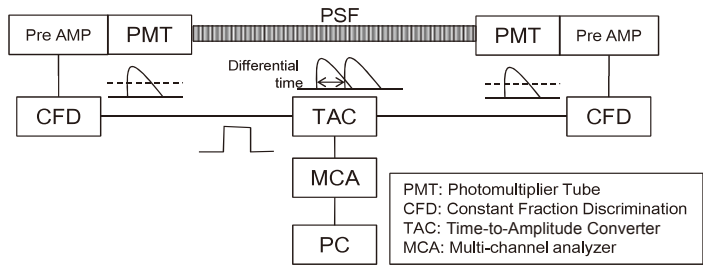


図 1 PSF システムの構成



図 2 機器の外観

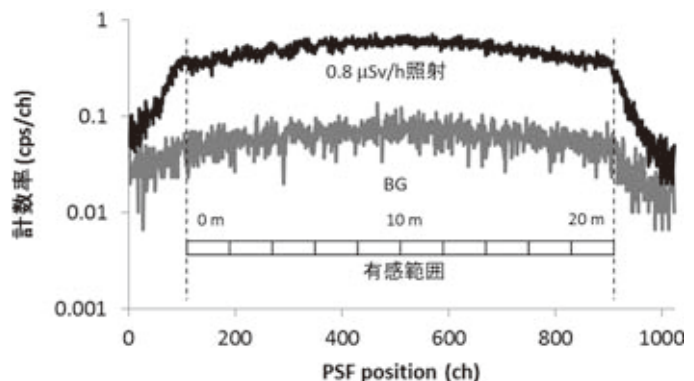


図 3 PSF の ^{137}Cs 照射試験結果 (10 本バンドル, 長さ 20 m)

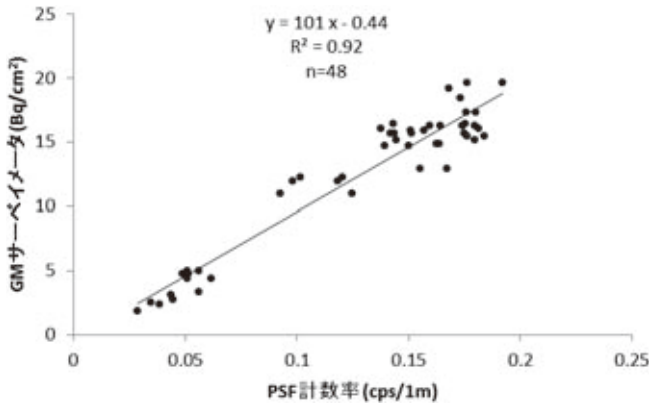


図4 PSFの計数率とGMサーベイメータの測定値との比較
(福島県内のコンクリート面除染場所にて実測)



図5 測定風景 (除染前後で測定し、汚染分布を比較)

して、正確な位置の把握よりも迅速に全体の傾向をつかむことが求められる。そこで、PSFの測定値と位置情報をマップ化するシステムを考案した。

本システムでは、数10チャンネルごとの平均値を一定時間(10秒)ごとに記録し、連続測定を行っている。このため、直線的に伸ばした検出部を一定速度で平行移動することにより、空間線量率や汚染密度が面的に記録することができる(図5参照)。すなわち、“スキャナー”のように、地面の汚染レベルを記録していくわけである。

3. 除染現場での適用

前述のPSFマッピングシステムの適用性を検討するため、(独)日本原子力研究開発機構

(以下、原子力機構)では福島大学構内や福島県内の小中学校のグラウンド等や除染現場で測定試験を行ってきた。その実例を以下に記す。

路面の除染作業では、高圧水等により除染試験が行われた⁸⁾。その前後に前記のPSFマッピングシステムを使用し、除染前後の汚染分布測定を行った。図6のように、除染前後で汚染レベルが大きく異なっていることが面的に表示できる。しかも、試験的に除染しなかった部分も明確に表示されている。このように、これまでのサーベイメータによるポイントごとの測定では

難しい除染の見落としまでもが一目瞭然に判断できることが分かった。この時、PSFによる“スキャン”は、人力による平行移動であった。民間企業ではこの技術を応用し、車にPSFの検出部を取り付けて、除染現場の測定に使用されている。図7は、建設機械の先端部にPSFの検出部を取り付けた例である。これは、PSFの本数を増やし周辺に遮蔽体を取り付けることによって検出感度を高めた測定システムである。これまで行われてきたサーベイメータによる格子点測定に比べて測定時間が大幅に短縮されるとともに、格子点間の局所的な汚染の検出にも有効であり、1時間で2,000 m²の広さを面的に測定できたとしている⁹⁾。

4. 水底放射能分布の測定

水中では放射線の飛程が短いことから、水底に蓄積した放射性セシウムの汚染分布を水面やその上から把握することは難しい。また、水密にしたサーベイメータによる“点”の測定では、水底の汚染分布を測定するためには、陸以上に格子点を細かくする必要がある。そこで、原子力機構では、PSFの耐水性と“線”測定の利点を用いて、福島県内のため池を中心に水底の汚染分布測定技術の開発研究を行っている。一例として、長さ20 mのPSF検出部を水

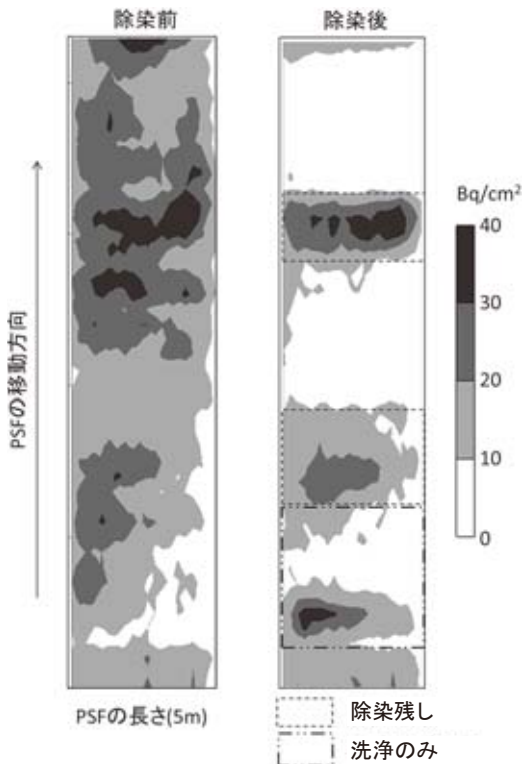


図6 除染前後の汚染分布測定結果の比較
(除染は基本的に高圧洗浄+除染水吸引方式を用いた。一部、比較用に除染水を吸引せずに自然乾燥後測定した)



図7 PSFを用いた自走式放射線2次元分布測定システム⁸⁾
車前方の“弓”の部分の下部にPSFが取り付けられている

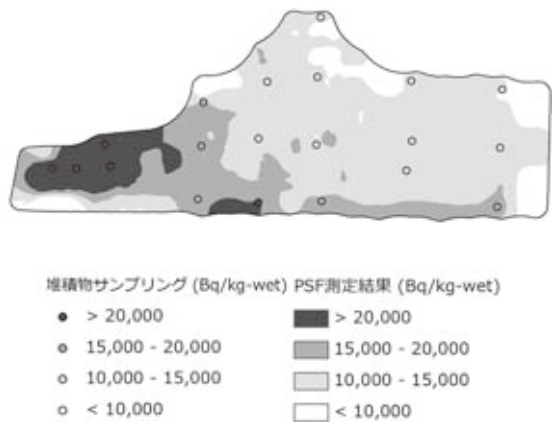


図8 PSFを用いた池底の堆積物中の放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) 濃度の測定結果例

底に沈めて100秒程度測定し、場所を移して同様の測定を繰り返す。ため池の底の放射能分布を測定した。PSFの測定データが空間的に連続となるよう補間する方法(クリギング法)を用いて内挿補間した水底の放射能分布のマップを図8に示す。このとき、PSFの測定後に同一地点で採泥器を用いて堆積物を採取し、固定式のGe検出器で測定したデータと比較することにより、濃度換算係数(cps/[Bq/kg-wet])を求めた。さらに、水中γ線スペクトロメータ¹⁰⁾を池底に沈めて測定した“点”測定の結果とも比較し、PSFでの測定結果とよく一致していることを確認している。

5. まとめ

PSFを用いた放射線分布測定システムの開発状況と福島原発事故で汚染した環境中での測定法について紹介した。PSFの測定システムは比較的操作が簡便であり、これまでの汚染状況の“点”測定から“線”分布の測定へ道を拓いた。また、これを移動させることにより“面”的な放射線分布マップを作成することも可能となり、汚染地域の放射線分布の測定に対して大幅な省力化が期待されている。さらに、“点”の測定では、見つけることの難しかった小さなホットスポットや除染しきれなかった部分の発見

や除染効果の確認にも有用であることが分かった。加えて、これまで難しかった水底での放射能測定にも経験を重ねつつあり、今後、河川や湖、海などの水底の汚染分布測定に、PSFの適用範囲の拡大が期待されよう。

参考文献

- 1) Takasaki, F., Saito, H., Shimizu, T., Kondo, S., and Shinji, O., Development of plastic scintillation fiber, *Nucl. Inst. Meth. A*, **262**, 224-228 (1987)
 - 2) Soramoto, S., Notani, M., Fukano, Y., Imai, S., Iguchi, T., and Nakazawa, M., A study of distributed radiation sensing method using plastic scintillation fiber, *KEK Proceedings*, **93-8**, 171-173 (1993)
 - 3) 江本武彦, 鳥居建男, 野崎達夫, 安藤秀樹, シンチレーション光ファイバーによる放射線空間分布測定, 放射線, **21**, 49-58 (1995)
 - 4) 納富昭弘, 杉浦紳之, 伊藤哲夫, 鳥居建男, 15 m 長シンチレーションファイバーを用いた線量分布のオンライン評価, 近畿大学原子力研究所年報, **46**, 1-8 (2009)
 - 5) 高田千恵, 斉藤圭, 橋本周, 位置検出型ファイバーエリアモニタの開発, 保健物理, **38**, 243-247 (2003)
 - 6) Gamo, H., Kondo, M., Hashimoto, T., Tayama, R., and Tsukiyama, T., Development of a PSF-detector for contaminated areas, *Prog. Nucl. Sci. & Tech.* (to be published)
 - 7) (独) 科学技術振興機構, シリーズ放射能除染除染効果が一目でわかる! 光ファイバーを用いた放射線測定器 (2013年2月27日配信), サイエンスニュース 2012 (特集), <http://sc-smn.jst.go.jp/playprg/index/6858>
 - 8) Topics 福島 (No.4), 22 件の除染技術を評価し報告書作成—環境省委託事業 (2012年10月23日), 原子力機構
 - 9) 松村修治, 北原成郎, 山西晃郎, 能瀬浩之, 千坂修, プラスチックシンチレーションファイバー (PSF) を用いた自走式放射線 2 次元分布測定システムの開発, デコミッションング技報, 第 48 号, 39-45 (2013 年) 原子力バックエンド推進センター
 - 10) Topics 福島 (No.15), 水底の放射性セシウムをどう調べるか (2013年1月17日), 原子力機構
- ((独) 日本原子力研究開発機構 福島技術本部 福島環境安全センター)