

CdTe を用いた 放射能分布測定技術

高橋 勲^{1,2}, 茂呂 栄治¹, 長島 賢一¹, 上野 雄一郎², 他^{**}
Takahashi Isao Moro Eiji Nagashima Kenichi Ueno Yuichiro

1. はじめに

東日本大震災の発生から2年半余りが経つが、福島第一原子力発電所を中心とした地域では、放射性セシウム (^{137}Cs 及び ^{134}Cs) による汚染が依然として大きな問題となっている。復興を進めていくためには、汚染状況の把握や確実な除染作業が必須であり、発電所の内外いずれにおいても放射能分布を把握する必要がある。一般には、環境放射線の測定にはサーベイメータが用いられており、空間分布を調べる際には密に測定点を設ける方法が採られている^{1,2)}。しかし、この手法では局所的なホットスポットを見落とす可能性が否定できないため、対象領域を点の集合ではなく面として把握できる測定が望ましい。

このような要求に応える装置としてガンマカメラが挙げられる。飛来する γ 線に対し、その放出源の分布を面状にかつ視覚的に認識できる装置であり、原子力関連の施設向けに製品化されているものも存在する^{3,4)}。しかし、従来の装置は汚染源が広く分布していることを必ずしも想定していないなどの問題があった。そこで、半導体放射線検出器の技術を用いることにより、これらの問題を克服するガンマカメラの開発を行った。

2. ガンマカメラの開発

(1) 放射線検出器モジュール

放射能分布のイメージを得るためには、2次元ピクセル状の放射線検出器が必要である。検出器素材としては、シンチレータ・比例計数管などの数ある放射線検出器の中から半導体を選んだ。半導体検出器のメリットとして、放射線のエネルギーを直接電気信号に変換するため、光電子増倍管などが必要なシンチレータと比べてコンパクトな装置設計が可能で、ピクセル化のための微細加工が容易であること、などが挙げられる。また、半導体検出器の中ではCdTe (テルル化カドミウム) という物質を採用した⁵⁾。シリコンやゲルマニウムといった半導体に比べて γ 線に対する感度が高いため、より短い時間で測定を行うことができ、また冷却が不要で常温で使用可能であるため、今回のように主に屋外で使う装置を設計する上では好都合である。

CdTe 素子の稠密な実装、コンパクトかつ低発熱の処理回路などの技術的ハードルを克服し、最終的に図1に示した半導体放射線検出器モジュールを開発した⁶⁾。このモジュールは前後左右に隙間なく並べて置くことが可能となっており、必要に応じてより大きな視野の2次元ピクセル状の検出器を実現できる。今回開発したガンマカメラでは、 16×16 の256ピクセルを持つモジュール1つを使用している。このモ

* 石津 崇章², 小橋 啓司², 田所 孝広²,
名雲 靖², 岡田 耕一²

* 放射能測定・除染技術等に関する調査検討専門委員会

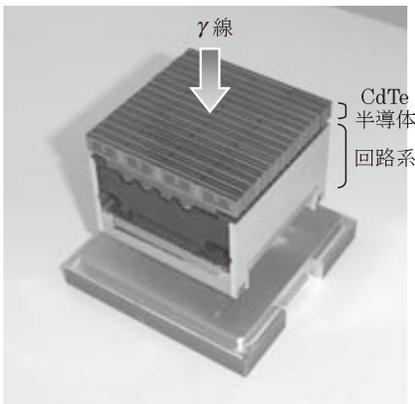


図1 半導体放射線検出器モジュール

ジュールは制御基板に搭載され、USB を介してパソコンから制御する。

(2) 可視化システム

一般に γ 線の飛来方向を知るためには、ピクセル型検出器に加え、凸レンズに代表されるような光学系（光線の飛来方向をピクセル位置に変換する仕組み）が必要となる。 γ 線は可視光のように凸レンズなどで曲げることはできないので、ピンホール光学系を採用することで撮像ができるようにした。図2に撮像原理を示す。測定対象面から飛来した γ 線はピンホールコリメータによって遮られるため、検出器面上で上下左右が反転した像を結ぶことになる。ピンホールコリメータは透過力の高い γ 線を効果的に遮る必要があるため、遮蔽能力の高いタングステン素材としている。なお、 γ 線を撮像するための別の光学系として、コンプトンカメラ光学系が挙げられる⁷⁾。この方式では視野を広く取ることができるというメリットがあるが、検出器を3次的に配置する必要があり、また結像のための処理が複雑である。生産性や保守性を確保して製品の早期供給対応に備えるべく、光学系としての構成がシンプルなピンホール光学系を採用した。

測定対象面（視野）の大きさは、検出器面の大きさ及び検出器面とピンホールコリメータとの距離によって決まる。今回開発したガンマカ

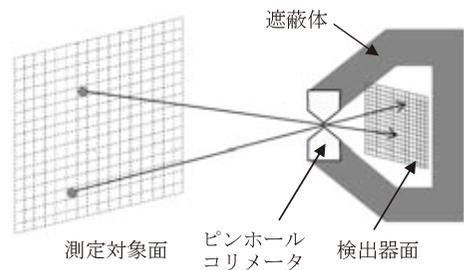


図2 撮像原理

メラでは、10 m 先の平面上にて視野が 8 m 四方（1 ピクセルが 50 cm 四方）となるように設計している。また、ピンホールコリメータの穴を小さくするほどシャープな画像が得られるが、穴を通過する γ 線が減ることから感度が下がり、長い測定時間が必要となる。そのため、想定される測定状況に合わせて適切なピンホールコリメータを設計することが重要である。

測定対象面以外から飛来する γ 線の検出はできるだけ抑えたい。そこで、図2に示したように検出器の周囲に遮蔽体を配置し、視野内から飛来する γ 線のみを検出するようにしている。この遮蔽体を厚くするほど遮蔽効果は高まるが、装置は重くなり、可搬性が悪くなる。図1のようなコンパクトな検出器モジュールを用いること、また遮蔽体の構造を最適化することにより、ガンマカメラの可搬性と十分な遮蔽能力を両立させている。

放射能分布を視覚的に認識するためには、 γ 線のイメージを光学情報と対応付けることが効果的である。そこで、ガンマカメラには光学カメラを備え付け、ピンホール光学系と同じ視野（実際には少し広めの領域）を撮影している。 γ 線と光学カメラのイメージをソフトウェア上で重ね合わせて表示することで、放射能の分布を直感的に認識することができる。また、更にレーザー距離計を備え付け、全 256 ピクセルに対して距離が測定できるようにしている。検出された γ 線の数と距離の情報を組み合わせることで、放射能の量を推定することが可能である。

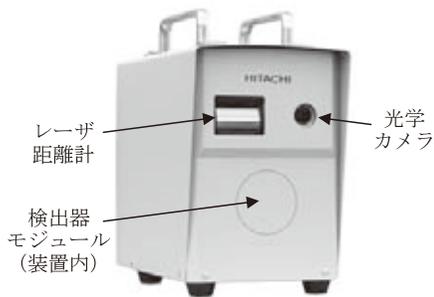


図3 ガンマカメラ外観

図3に開発したガンマカメラ（型式：GD-E2000）の外観を示す。装置の大きさは幅19 cm、高さ30 cm、奥行き31 cmであり、重さは約32 kgとなっており、操作用のパソコンと組み合わせて使用する。主に屋外での使用が想定されることから、本体内に充電式バッテリーを格納する構造としており、バッテリー残量は操作画面上から確認できる。そのほか、タッチパネル型のパソコンでも操作可能、生活防水、GPSによる位置情報を付加することも可能（オプション）、といった仕様とすることで、使い勝手の向上を図っている。

3. フィールド試験

実際の除染などの現場でどのようなイメージが得られるかを確認するため、ホットスポットの撮像試験を行った。測定環境には、通常的生活を送った際に年間1 mSvの被曝になるとされ、除染対象の空間線量率の判断基準となっている0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 付近の場所を選んだ。周辺の様子を図4に示す。サーベイメータ（日立アロカメディカル(株)製TCS-172）で測定した空間線量率は表1の通りであり、ガンマカメラ設置位置及び近傍のアスファルト上では基準値の0.23 $\mu\text{Sv/h}$ に近い値となっている。一方で、樹木の根元では2 $\mu\text{Sv/h}$ 近くとなっており、いわゆるホットスポットであることが分かる。しかし、サーベイメータの測定だけでは、どのくらいの範囲にホットスポットが広がっているの



図4 フィールド試験の周辺環境

表1 サーベイメータで測定した線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

場所	地表からの高さ		
	10 cm	50 cm	100 cm
樹木の根元	1.92	0.85	0.58
ガンマカメラ設置位置	0.36	0.29	0.27
アスファルト (参考値)	0.21	0.19	0.19

か、更にはどの範囲を除染するのが効果的であるのかを把握することは難しい。

このホットスポット近辺をガンマカメラで測定すると、図5(a)のようなイメージが得られた。樹木の根元を囲んでいる土の領域全面から γ 線が飛来している様子が視覚的に認識でき、数m程度の範囲にわたって顕著な汚染が広がっていることがわかる。なぜこのようなホットスポットが存在するかについては別途考察を加える必要があり、今回のケースでは風に乗って流されて来た放射性セシウムが木の枝に付着し、これが雨によって根元に流されたものが溜まっているのではないかと推測が可能である。

また、ガンマカメラを活用することにより、除染作業の効果を視覚的に分かりやすく示すことができる。先の例で、樹木の根元の土を深さ5 cmにわたって除去する“除染作業”を実施してから再度ガンマカメラで測定すると、図5(b)のようなイメージが得られた。ホットスポ

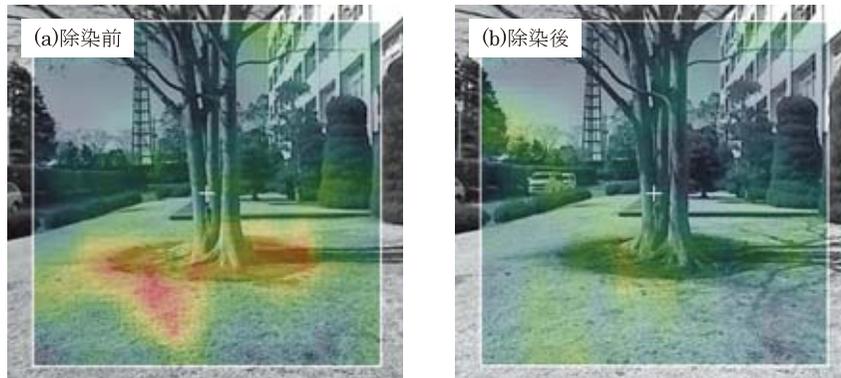


図5 ホットスポットの撮像例

ットからの放射線が減っていることを視覚的に確認でき、除染がなされたことが直感的に認識できる。

4. まとめ

放射能分布を視覚的に示すことで除染作業を効率化する助けとなる環境放射線用ガンマカメラの開発を行った。半導体放射線検出器モジュールにピンホール光学系を組み合わせ、さらに光学カメラ及びレーザー距離計を備え付けることにより、 γ 線の飛来方向を直感的に表示できる。実環境に近い条件で確認の測定を行ったところ、除染の現場でも有効に活用できることが示唆された。被災地域の復旧・復興に少しでも貢献できれば幸いである。

【謝辞】

本ガンマカメラの一部は、(独)科学技術振興機構の平成24年度委託研究“先端計測分析技

術・機器開発プログラム”の一環として開発されたものである。ここに記し深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 文部科学省, 日本原子力研究開発機構: 放射線測定に関するガイドライン (2011)
- 2) 環境省: 除染関係ガイドライン 第1版 (2011)
- 3) Gal, O., *et al.*, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **47**, 952-956 (2000)
- 4) GammaCam, <http://gammacamnow.com/>
- 5) Takahashi, T., *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, **436**, 111-119 (2000)
- 6) Takahashi, I., *et al.*, *Conference Record of 2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, 2000-2003 (2011)
- 7) 武田伸一郎, 渡辺伸, 高橋忠幸, *Isotope News*, No.702, 14-20 (2012)

¹ 日立コンシューマエレクトロニクス(株),
² (株)日立製作所