

長期間電池交換不要なリアルタイム モニタリング対応放射線線量計



鈴木 良一
Suzuki Ryoichi

1 はじめに

東日本大震災によって生じた福島第一原子力発電所の事故から10年が経過したが、放射線量の高い帰還困難区域はまだ存在し、それらの区域への帰還の準備が進められている。また、今後、原子炉の解体作業が本格化すると予想される。帰還住民や長時間の放射線作業を行う現場では、放射線被ばくをできる限り低減することが望まれており、長期間にわたってどのような場所・時間帯に被ばく放射線量が高くなるかを把握できる放射線量のモニタリング技術が必要とされている。また、医療、非破壊検査、宇宙分野等においても放射線による被ばく低減のため作業時の放射線量の時間推移を長期間にわたって簡便にかつ信頼性を確保して計測できる技術が必要とされている。

筆者らは、2012年に福島原子力発電所事故に対応して住民向けに1年以上電池交換せずに日々のγ線被ばく線量を記録できる放射線線量計を開発した¹⁾。この線量計は、千代田テクノル(株)からD-シャトルという名で製品化²⁾されて、福島県の自治体の住民等に配布され、地域住民の線量計測等に利用されてきている。

2012年に開発した線量計は、本体に線量を表示するディスプレイを搭載していなかったが、最大400日24時間連続して線量を計測・記録し、光通信や無線通信で携帯型の表示器や管理機等と通信し

て線量記録を確認できるという特徴を持っていた³⁾。これによって、長期間の時間毎の線量記録が得られることから、個人線量、空間線量、行動パターンとの関係⁴⁾や、国内外の生活レベルでの線量比較⁵⁾等の研究にも利用されている。しかし、放射線作業場等で1分毎等定期的に無線通信を行ってリアルタイムの線量モニタリングを行おうとすると、無線通信に要する電力消費が大きく、長期間の使用が困難であった。

そこで筆者らは、2012年開発の低消費電力線量計の技術を更に高度化して電池交換無しに駆動できる時間を2年以上に伸ばしつつ、省電力での表示技術や省電力無線IoT (Internet of Things) 技術を導入した新たな線量計を開発した。この線量計は、長期間電池交換が不要で、線量の値や時間推移を線量計搭載のディスプレイでいつでも目視確認できると共に、定期的に無線通信を行うことによって、多数の線量計のリアルタイムモニタリングや管理を行うことが可能になった⁶⁾。

2 開発した線量計

開発した線量計(図1)は、サイズ69mm×37mm×16mm、重さ35gで、γ線あるいは高エネルギーX線が放射線検出器に入った時に生じるパルス信号を検出して、その波高を弁別しカウントを線量に換算する電子式線量計である。



図1 開発した線量計と500円硬貨

線量計内部は、図2のように、センサー部、コントローラ部、液晶ディスプレイ、電池で構成されている。

センサー部は、シリコン PIN ダイオード放射線検出器と衝撃センサー及びマイクロコントローラユニット (MCU) からなる。放射線検出回路は外部から衝撃があった場合にも微弱な電流変化が生じ誤検出する可能性があるため、衝撃センサーで誤検出を防いでいる。2012年に開発した線量計では、この処理のためにMCUが稼働し電力を少し消費していたが、信号処理方式を変更することで、MCUの稼働時間を短縮し低消費電力化した。

コントローラ部は、Bluetooth Low Energy (BLE) 無線通信機能を備えたMCU、不揮発性メモリ、LED (光通信兼用)、スイッチ、ブザーからなり、センサー部に入った放射線信号のカウントを定期的に取り込んでデータの記録・表示・通信を行う。

ディスプレイは、Memory In Pixel方式のカラー液晶ディスプレイを使用し、電流をほとんど消費せずに過去1日の1時間毎、あるいは過去1時間の1分毎の線量率の時間推移のグラフを線量計に常時表示することができ、現在の線量や線量の時間推移を確認したい時にいつでも確認できる (図3)。また、急激に線量が増加した場合等、表示を時間毎の表示から分毎の表示に自動的に切り替えると共に、LEDやブザーにより警告を出すこともできる。LEDは光通信機構も兼ねており、無線通信と組み合わせることで、無線通信のみの場合に懸念されるセキュリ

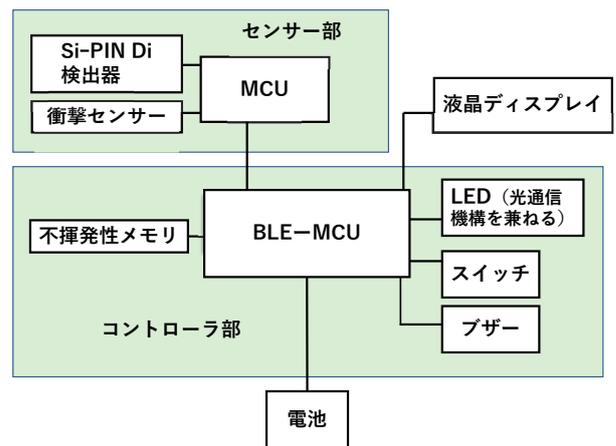


図2 線量計のブロック図

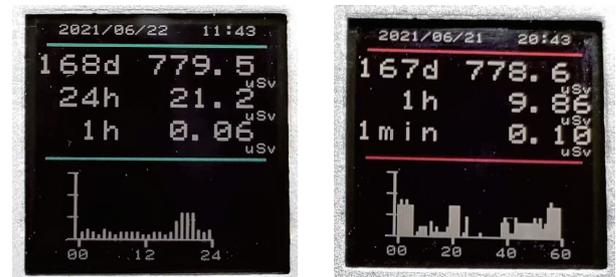


図3 線量計の表示画面

ティ問題を回避し、安全で効率的な通信を可能にしている。

無線通信は、省電力なBLE無線通信技術を用いており、1分毎等一定時間間隔で計測した線量データを送信できる。計測・表示・1分毎の無線データ送信を行うモードでは、3Vのボタン電池 (CR2450型) 1個で2年以上 (約2万時間) 電池交換せずに連続動作させることができる。

放射線管理区域内で作業員の線量を計測する用途では、入退室管理システムで作業員の入退室が把握できることから、このシステムと連動させることにより入室時間以外は計測・データ送信を停止して消費電力を低減できる。これによって、年2,000時間程度の作業を行う場合、約10年間電池交換せずに使用可能であると考えられる。また、環境中の放射線量を24時間連続してモニタリングする用途にも使うことができる。この用途では、電池サイズの制限を受けないので、円筒形の自己放電の少ない電池を用いれば電池交換せずに10年以上連続動作させることができる。この10年という期間は、線量計の設計寿命と同程度のため、電池交換機構を設けず、

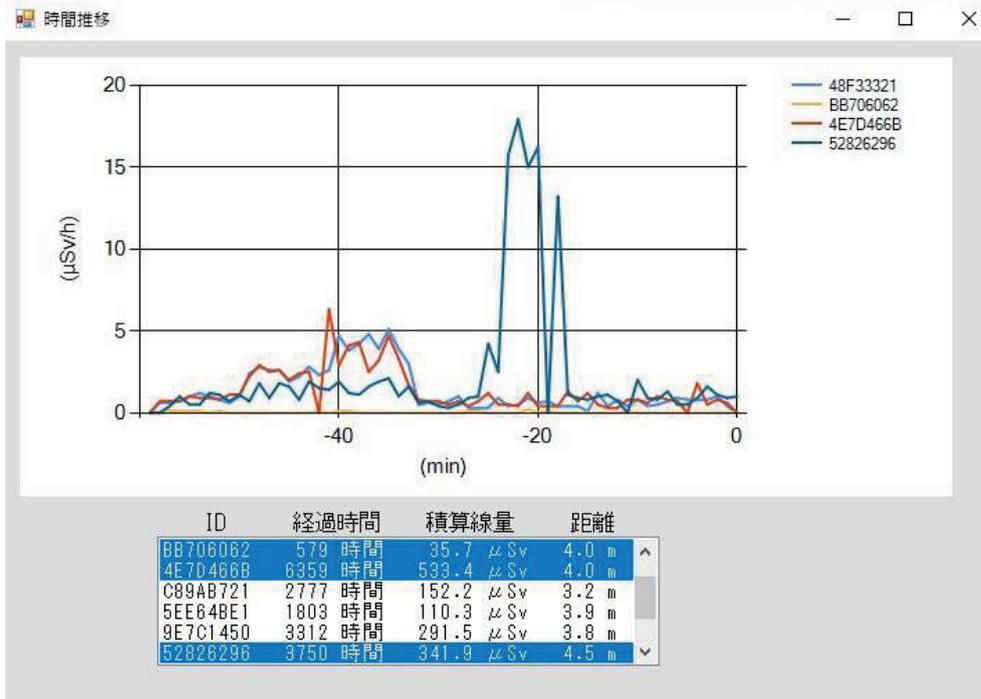


図4 PCでの時間推移表示例

製造時に封止すれば、接触不良を低減できると共に防水等耐環境性能を高めることができる。

放射線作業場等では、多数の線量計を同時に使用する場合が多いが、一般的なパソコン等に搭載されているBLEデバイスは様々な機器との接続性を優先して様々な処理が行われるため、多数の線量計のモニタリングをする用途ではデータの取りこぼしが多くなる。そこで、専用のBLE送受信機を開発し、1つの送受信機で千個以上の線量計のデータを収集することを可能にした。送受信機の数を増やせば、更に多くの線量計に対応できる。この取得した線量データをデータベース化し、任意の線量計を選んでPC等で表示することができる(図4)。

また、長期間使用する線量計は、計測データの正確性や動作の信頼性を確保するために線量計を定期的に(年1回)校正・点検することが必要であり、多数の線量計を一括して校正・点検することも可能である。前述のように、電池交換機構がなく電池を内蔵して封止された線量計は、電池まわりの点検が不要で、校正・点検を効率的に行うことができる。

BLE通信では受信電波レベルを計測してBLE機器(線量計)から送受信機までの距離を推定できることから、設置位置が異なる複数のBLE送受信機

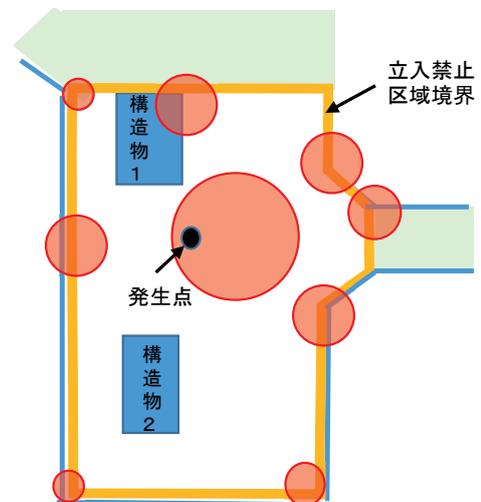


図5 位置情報を加えた線量分布の例

測定箇所を円の中、線量強度(対数値)を円の半径で表示

を用いることにより、個々の線量計の位置を推定することができる。更に、スマートフォン等の情報端末を用いて線量計からのデータを受信し、表示させることも可能である。屋外では、スマートフォンのGPS機能を利用することにより、位置情報と被ばく線量の情報を関連づけることもできる。

図5は、この位置情報を利用した線量測定の場合

あり、屋外での非破壊検査を行った時に、立入り禁止区域境界や立入り禁止区域の中の測定場所での線量を円の半径で表している。本線量計は、10 mSv/h以上の高線量率の測定には対応できない³⁾ため、非破壊検査のX線源からの直接線の線量の測定には不向きで、X線源から少し離れた位置での散乱線等を測定する用途に適している。図5では、立入り禁止区域の中のX線の発生点に近いほど散乱線による線量が高くなっているが、立入り禁止区域境界では線量が抑えられていることを示している。X線の発生位置が変わる場合、このような線量分布をほぼリアルタイムで得ることができ、被ばく線量が高くなる可能性があれば、対策をとることができる。

3 今後の展望

以上のように、開発した線量計は電池の消耗をほとんど気にせずに本体で放射線量の値や時間推移を確認でき、かつ無線通信によるリアルタイムモニタリングができる。この情報からいつ、どこで、誰が、どの程度被ばくしているかという情報を把握できることから、被ばくが増える可能性がある場合に警告・警報を出したり、行動を変えたりする等の対策を迅速にとることで、放射線被ばくを最小限に抑えることができる」と期待される。

今後は、開発した線量計を実際の放射線作業の線

量計測に適用して有効性を検証すると共に、医療、非破壊検査、宇宙等リアルタイムモニタリングや長期間の被ばく評価が必要な分野への応用を検討していく。

謝辞

本研究開発は、環境省委託事業「放射線健康管理・健康不安対策事業（放射線の健康影響に係る研究調査事業）」における研究課題「効果的な個人被ばく線量管理に資する線量の測定と評価に関する実践的研究（平成30年度～令和2年度）」による支援を受けて行ったものである。この研究テーマにおいてご協力いただいた内藤航氏、黒澤忠弘氏に感謝する。

参考文献

- 1) https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120213/pr20120213.html
- 2) https://www.c-technol.co.jp/radiation_monitoring/monitoring03
- 3) 鈴木良一，大口裕之，*Radioisotopes*, **67**, 447(2018)
- 4) 内藤 航，上坂元紀，*Isotope News*, **739**, 37-42(2015)
- 5) N, Adachi, *et al.*, *Journal of Radiological Protection*, **36**, 49-66(2016)
- 6) https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20120213/pr20120213.html

((国研)産業技術総合研究所)