

所属学科	応用物理学科	氏名	武内 健士郎	指導員	片岡 淳 印
研究 題目	新型シンチレーターGAGGの基礎特性評価及びサーベイメータへの応用				

## 1、はじめに

福島原発の事故以来、個人向け線量計の需要が急速に高まっている。個人向け線量計とは身の回りの空間線量を測定するためのものであり、自然放射線のような低い線量のものでも測定できるような感度の高いものが望ましい。シンチレーション式線量計はシンチレーターと呼ばれる結晶と光センサーとを組み合わせ用いた線量計であり、他の線量計と比べ、特に低線量に対して高い感度を有する。しかしながら、線量計によく用いられる NaI(Tl) や CsI(Tl) といったシンチレーターは潮解性を持つため取り扱いが難しいという欠点がある。また、光センサーである光電子増倍管はサイズが大きく、また安定供給の面で問題がある。そこで我々は、Ce:Gd<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>O<sub>12</sub>(以下 GAGG)(図 1、左) というシンチレーターに着目した。GAGG は、2011 年に古河機械金属と東北大学が共同開発したシンチレーターであり、発光量が大きく潮解性と自発光を持たない結晶である。また、光電子増倍管に代わる光センサーとして、MPPC(Multi-Pixel Photon Counter)(図 1、右) というセンサーを用いた。MPPC は、ガイガーモード APD(Avalanche Photodiode) をアレー上に配置したもので、PMT と同程度(10<sup>5</sup> - 10<sup>6</sup>) の増幅率を持ちながら非常にコンパクトな半導体光センサーである。しかしながら、MPPC は光電子増倍管と異なりゲインが温度に対して大きく変化してしまうため、これを補償するシステムの構築が必要となる。GAGG と MPPC を用いることで、従来と同程度またはそれ以上の性能を持ち、またコンパクトで扱いやすい線量計の開発を目指した。本研究では、GAGG の基礎特性を評価し、また MPPC の温度変化を補う回路を自ら設計した。また、実際にこれらを組み込み、コンパクトな線量計を新たに開発した。



図 1. GAGG(左)と MPPC(3×3mm)(右)

## 2、GAGG の基礎特性の評価

本研究では、GAGG の光量の温度変化・減衰時定数・エネルギー分解能・自発光・放射化特性を測定した。まず、5mm 角の GAGG を -20℃ から 20℃ まで変化させ、<sup>137</sup>Cs 線源の 662 keV の  $\gamma$  線に対するエネルギースペクトル(図 2、左)を取得し、各々のピークにおけるチャンネル数の変化量を光量の変化量として計算した。その結果、-20℃ における光量は 20℃ と比較して 15.1% 増加した(図 2、右)。ここで、図中の相対光量は 20℃ のチャンネル数を基準にした時の増加量を表している。また、このスペクトルからエネルギー分解能を計算したところ、光量の増加から温度が低くなるとエネルギー分解能は良くなり、-20℃ における GAGG のエネルギー分解能は 7.3%(FWHM)であった。次に、662keV の  $\gamma$  線に対する GAGG の出力波形をオシロスコープで取得し、その波形から減衰時定数を測定した。その結果は 20℃ で 108.4 ns となった。続いて、GAGG の内在バックグラウンド(以下内在 BG)を測定した。これは、GAGG に入射する  $\gamma$  線を鉛と銅のシールドで遮蔽し、その状態で取得したエネルギースペクトルのことである。スペクトルの比較対象として自発光のある Ce:LYSO と自発光のない BGO、GSO でも同様に測定した結果、GAGG の内在 BG は自発光のない BGO や GSO と同程度であることがわかった。また、放射化特性の評価用に 20 krad の陽子を照射したものを用意し、内在 BG 測定のセットアップと同様に測定したところ、照射前と比較して内在 BG が 30 - 50 倍程度に増加した。また、低エネルギー側に放射化による特性 X 線と思われるスペクトルが表れたため、フィッティングによりエネルギーを調べたところ、およそ 45keV、93 keV、136keV となった。このスペクトルが何に由来するものであるかはよりエネルギー分解能の良いゲルマニウム検出器などで調べなければ同定できないが、GAGG に含まれる Gd の放射性同位体である <sup>153</sup>Gd の K $\alpha$  線が 41.5keV であり、プロトンの照射により <sup>153</sup>Gd が生じている可能性が高い。また、200 から 400keV の間にも連続的なピーク成分が見え始めており、今後はよりエネルギー分解能の高いゲルマニウム検出器などを用いて起源を解明する。

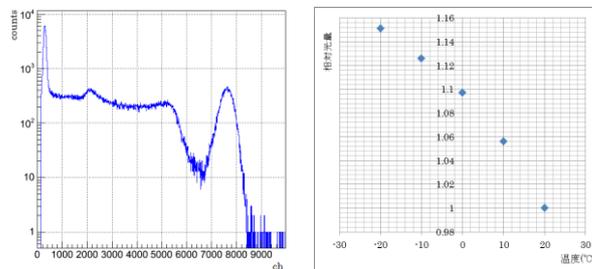


図 2.  $\gamma$  線(662keV)に対する GAGG のエネルギースペクトル(左)と相対光量の温度変化(右)

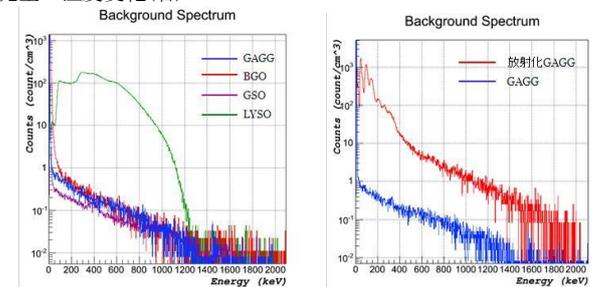


図 3. 各シンチレーターにおける内在バックグラウンドのエネルギースペクトル(左)と放射化した GAGG の内在バックグラウンドスペクトル(右)

## 3、MPPC の温度補償回路と線量計の開発・評価

次に、MPPC のゲインの温度変化を補償するための回路設計を行った。この回路は、アナログの温度センサーを用いて MPPC に印加する電圧を温度に対して線形に補うものであり、回路外部に制御のための PC やマイコンなどを必要とせず温度センサーのみで簡単に温度補償を行うことができるものである(特願 2011-289480)。また、温度センサーと組み合わせている抵抗を変更し、相応しいパラメータを探すことで MPPC に印加される電圧が MPPC のゲインを一定に保つように調節した。これらの回路を用いることで、MPPC の出力の変化は 0℃ から 25℃ の範囲で  $\pm 3.4\%$  以内に抑えることができた。更に、実際にこの温度補償回路を組み込み、GAGG と MPPC を用いた線量計を古河機械金属と共同で開発した。これは、ガンマスポッターという商品として同社より販売されている(図 4、左)。古河機械によると、この線量計の表示値の温度変化を -20℃ から 50℃ の範囲で  $\pm 5.0\%$  以内に抑えることができた(図 4、右)。



図 4. ガンマスポッターの概観(左)と線量計の表示値の変化率(右)(古河機械調べ)

## 4、まとめ

本研究では、新規に開発した GAGG 結晶の基礎特性を評価し、これを初めて、線量計に適用することに成功した。また、MPPC のゲインの温度変化を線形に補う簡便な回路を設計し、これを線量計に用いられるようにした。MPPC はサイズが小さく、線量計をコンパクトなものにできる。また、GAGG は従来のシンチレーターと異なり、潮解性がなく安定した結晶である。古河機械金属の協力の下、実際にこれらを用いて、コンパクトで扱いやすい線量計を開発した。本研究は、個人向け線量計の普及に向けて大きな成果となった。