

機関番号：53203

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560776

研究課題名 (和文) 立体格子構造を持つシンチレータによる三次元放射線イメージングシステムの研究

課題名 (英文)

Development of a three dimensional radiation imaging system with layered grid structure

研究代表者

高田 英治 (TAKADA EIJI)

富山高等専門学校・専攻科・教授

研究者番号：00270885

研究成果の概要 (和文)：

代表者らのグループで以前から開発している格子状導波路構造を積層化し、3次元放射線イメージングが可能な測定システムを構築した。格子構造はアルミニウム合金で製作したものを積層化し、それをガラス及びアルミ合金でできた容器中に液体シンチレータで浸す形で封入した。高速中性子及びγ線による実験を通じ、本システムによって放射線と物質の相互作用分布を三次元的に測定できること及び放射線の大まかな入射方向についても測定可能であることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

Based on the previously developed two dimensional radiation imaging system with a grid structure, a three dimensional radiation imaging system has been developed. The grid is composed with aluminum alloy, which has been sintered in liquid scintillator. From the irradiation experiments with fast neutrons and gamma rays, it has been shown that this system could measure the distribution of the radiation induced energy deposition inside the liquid scintillator. We have also shown that the system could measure the average direction of incident radiation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線、シンチレータ、立体格子、三次元分布

## 1. 研究開始当初の背景

米国の SNS、日本の J-PARC において加速器中性子源の開発が行われ、中性子イメージング用検出器へのニーズが高くなっている。また、空港等でのセキュリティ用途のために、中性子源を用いた荷物検査システムの高度化が検討され、そのためにも中性子イメージング用検出器が求められている。また中性子以外にもγカメラなど、放射線のイメー

ジングを行うシステムに対するニーズが高い。

これらのニーズに対応するため、様々な放射線イメージングシステムが提案されているがなど、それらの多くは平面内でのイメージングを行うものである。半導体を用い、三次元の放射線分布を測定する手法も提案されているが、耐放射線性や応答速度という点でシンチレータには劣る。

研究代表者は、これまでに光ファイバを用いた放射線分布測定法について研究を行ってきた。その中で格子状の構造にシンチレータを充填し、各チャンネルからの光子を独立に測定することで、平面内の放射線分布測定が可能であることを示した。その研究の過程で、立体的な格子構造を用いれば、平面内の放射線分布だけでなく、放射線の入射方向や放射線のエネルギー等に関する情報も得られるであろうと考え、本研究を実施した。

## 2. 研究の目的

立体格子状シンチレータによるイメージングは、これまでに試みられたことがない。そこで、立体的な放射線分布測定に関し、本研究では主に可能性の実証を重点的に行うことを第一の目的とした。その際、シンチレータをどのように加工すべきか、また液体シンチレータを用いる場合にはどのように封入を行うかなど、シンチレータの選択や使用方法に関しても検討を行った。

本研究では、上のような検討を経て構築したシステムについて、中性子及び $\gamma$ 線に対する応答特性を評価し、システムとしての可能性検討を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

以前から放射線イメージングに使用してきた格子状導波路の構造を Fig.1 及び Fig.2 に示す。この導波路は縦横に溝が掘ってある金属製の格子の中に、シンチレータを満たした構造となっている。この構造内部で発生し、周辺に向けて伝播したシンチレーション光は電子増倍管に入射する。それらを光電変換、信号処理することで放射線の入射位置を知ることができる。これまでの研究により、この導波路による二次元放射線分布測定の可能性が示されている。

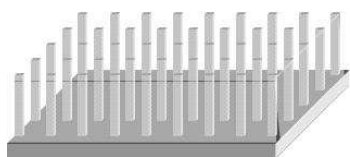


Fig.1 使用してきた格子状導波路構造

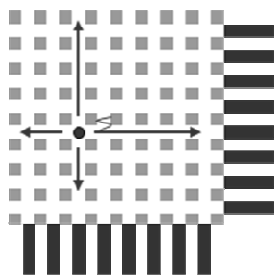


Fig.2 シンチレーション光の伝播経路

放射線の三次元イメージングを行うために、Fig.3のように金属製の格子を縦に積み重ねた上で、内部をシンチレータで満たすための容器を製作した。導波路内に満たすシンチレータは、金属製の格子内に隅々まで行き渡るように、液体シンチレータを用いることにした。また以前の研究では、シンチレータレジキット（サンゴパン、BC-490）を用いることで格子を埋めるように固体シンチレータを重合していたが、重合時の気泡の発生などにより透明度が低いという問題点があった。液体シンチレータの利用により透明度の点でも改善された。

信号読み出しには抵抗チェーンを用い、できるだけ回路数を少なくするよう努めた。光電子増倍管出力を抵抗チェーンによって分割し、その後、増幅及び波形整形した後、AD変換して値を保存した。各ch間の同時計測及び非同時計測も可能な構成とした。Fig.4に製作したシステム各部の出力信号を示す。

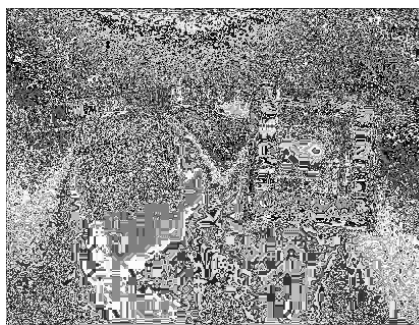


Fig.3 積層した導波路と液体シンチレータを満たすために用いる容器

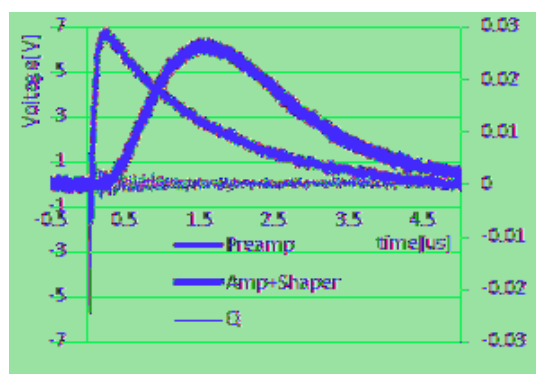


Fig.4 製作したシステム各部からの出力信号

## 4. 研究成果

### (1) $\gamma$ 線測定実験

$^{37}\text{Cs}$ からの $\gamma$ 線を厚さ50mm、直径6mmの鉛で絞り込み、センサー各部に照射して分布測定を行なった。導波路の配置と光電子増倍管の受光面を合わせる必要があったため、導波路サイズをch数:  $8 \times 8$ ch、1ch当たりの有体積:  $4.08 \times 4.08 \times 4.08 \text{mm}^3$ 、ch間ピッチ:

6.08mm とした。今後、例えば縦方向の 4ch、横方向の 3ch の交点に放射線に入射させる場合、これを 4-3ch と表記する。

Fig. 5 の一次元分布は縦方向の ch を 4ch に固定し、横方向の 1~8ch の各 ch に  $\gamma$  線を照射した時の結果を表す。 $\gamma$  線を照射した ch と計数値のピーク ch が一致していることが分かる。しかし導波路の端の ch では、ピークカウント数の減少が見られた。これは、端の方の ch では一方の光電子増倍管との距離が大きくなったため、移動中の光子が吸収を受けやすくなり、その光電子増倍管での収集光子数が小さくなったことが原因と考えられる。また Fig. 6 に 3ch に照射した時の 1~3 層の 2 次元分布を示す。これらの結果から、本システムによって各層内の放射線とシンチレータの相互作用分布が測定できていることが分かる。

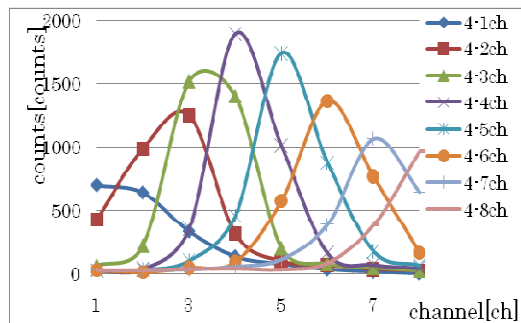


Fig. 5  $\gamma$  線を入射した場合の 1 層目の応答

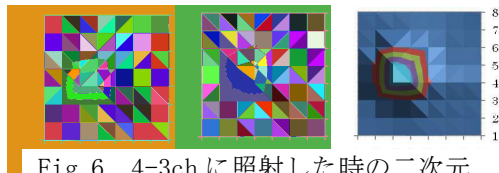


Fig. 6 4-3ch に照射した時の二次元分布測定結果

## (2) 高速中性子測定実験

高速中性子源炉「弥生」(東京大学) から的高速中性子ビーム(高速中性子柱)を用い、システムの応答特性評価を行った。測定体系を Fig. 7 に示す。炉の内部から出力されるビームには  $\gamma$  線も含まれているため、厚さ 10cm の鉛ブロックを用いて  $\gamma$  線を減衰させた。その後、ポリエチレンコリメータ(酸化ホウ素 10%含有)でビームの直径を 10mm に絞り、検出器に照射した。入射位置は、各層の縦の位置: 3ch とし、横の位置を 1ch~8ch で変化させ、測定した。

測定の結果の例(1層目)を Fig. 8 に示す。測定されたピーク位置は入射 ch にほぼ一致しているが、ピーク形状がやや広がっていることが分かる。そこで、ビームを 3mm にコリメートして測定した結果を応答関数とし、直

径 10mm の測定結果にデータの再構成を施した。再構成には ML-EM 法に基づき、次の式を用いた。

$$\lambda_j^{k+1} = \frac{\lambda_j^k \sum_{i=1}^n y_i C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij} \sum_{j=1}^m C_{ij} \lambda_j^k}$$

ただし、 $\sum C_{ij}$  はコリメータ直径 3mm の測定値から作った応答行列、 $y_i$  はコリメータ直径 10mm の実測値、 $k$  は繰り返し計算回数を表している。なお、 $n$ 、 $m$  は ch 数で今回の場合はともに 8 である。

再構成の結果を Fig. 9 に示す。入射位置によって再構成後のピーク形状がやや異なっているが、ピーク面積のばらつきが小さくなり、再構成の効果があつたことが分かる。

次に直径 10mm の中性子ビームを検出器に対して斜めに入射させ、各層での計数率分布の変化を調べた。照射体系を Fig. 10 に示す。

まず、垂直に入射させた結果として、Fig. 11 に 4-4ch に入射角  $0^\circ$  で照射した場合の各層の一次元分布を示す。分布の形状を比較しやすいように、縦軸は各 ch のカウント数を垂直方向 4ch の水平方向 1~8ch の合計カウント数で割った値を示す。入射角  $0^\circ$  の場合、1~3 層目ではほぼ同じ分布傾向を示した。一方、Fig. 12 に入射角  $20^\circ$  で照射した場合の一次元分布結果を示す。入射角  $20^\circ$  の場合、1 層目では 3ch の計数値が増加し、3 層目では 3ch の計数値が減少した。一方、5ch については、1 層目で計数値が減少し、3 層目が増加した。この結果から、各層における ch 毎のカウント数の増減を定量的に考察することで、放射線の入射方向の推定が可能であると考えられる。また入射角  $0^\circ$  と  $20^\circ$  のカウント数に着目してみると、 $20^\circ$  では  $0^\circ$  に比べて 1.25~1.28 倍増加していることが分かった。これは、ビームの入射角が増すことで、ビームが照射されている検出器の体積が増すことが原因と考えられる。ビームが照射されている検出器の体積は  $20^\circ$  で  $0^\circ$  に比べて 1.28 倍あり、カウント数の増加量とほぼ一致する結果が得られた。これらの結果から、本システムによって平均的な放射線入射方

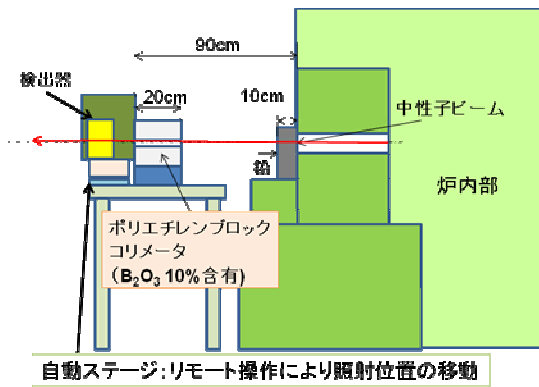


Fig7 中性子照射実験の体系

向を測定できる可能性が示された。

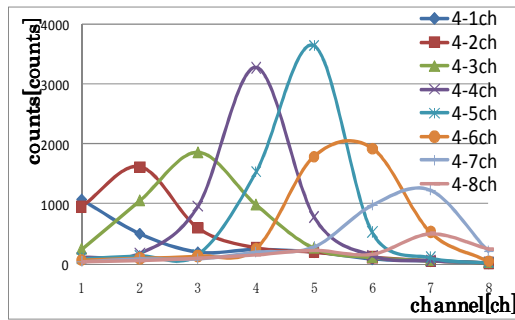


Fig. 8 直径10mmのコリメータを用いた場合の1層目の一次元分布測定結果

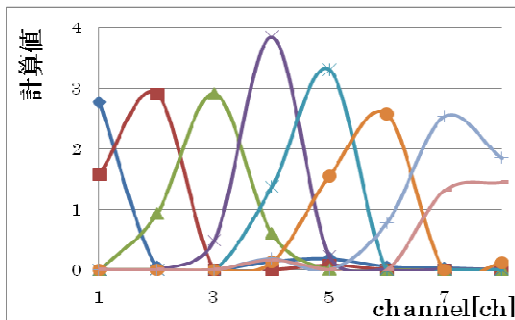


Fig. 9 画像再構成適用結果

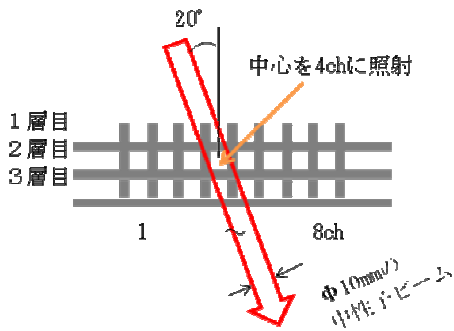


Fig. 10 斜め照射の場合の照射体系

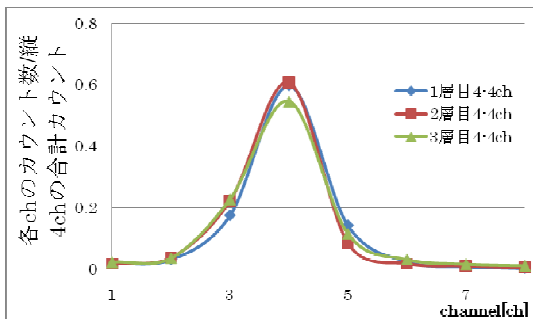


Fig. 11 入射角0°の場合の各層の計数値分布

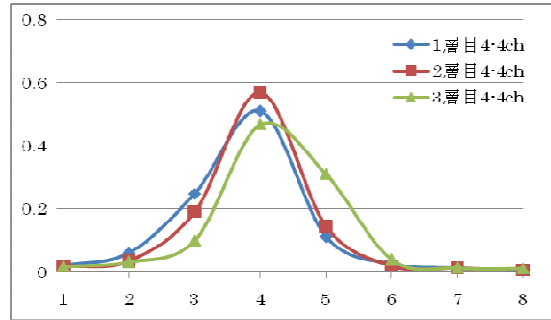


Fig. 12 入射角20°の場合の各層の計数値分布

### (3) まとめ

本研究で研究対象とした立体格子構造による三次元放射線イメージングシステムが想定通りに動作し、検出器中での放射線とシンチレータの相互作用分布を測定可能であることが示された。センサー部はシンチレータと金属格子のみで構成されており、高電子増倍管以降の処理回路は遮蔽された状態で使用することが可能である。従って、本システムは従来の半導体ベースのシステムに比べ、高い耐放射線性が期待できる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

①「立体格子構造を持つシンチレータによる三次元放射線イメージングシステムの研究」、岩城伸明、高田英治他、日本原子力学会 2011年春の年会 M44

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

高田 英治 (TAKADA EIJI)  
富山高等専門学校・専攻科・教授  
研究者番号：00270885

#### (2) 研究分担者

河原林 順 (KAWARABAYASHI JUN)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：80283414  
(平成20年度のみ)

#### (3) 連携研究者

畔田 博文 (KURODA HIROFUMI)  
富山高等専門学校・専攻科・准教授  
研究者番号：10290735