

### SPECTのための軽量コリメータの提案

OGAWA, Koichi / KATO, Junya / 尾川, 浩一 / 加藤, 純也

---

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学 / 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学

(号 / Number)

15

(開始ページ / Start Page)

13

(終了ページ / End Page)

17

(発行年 / Year)

2002-04-11

## SPECTのための軽量コリメータの提案

尾川 浩一<sup>†</sup> 加藤 純也<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 法政大学大学院工学研究科 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

E-mail: <sup>†</sup>ogawa@k.hosei.ac.jp, <sup>††</sup>junya@ogw.ei.hosei.ac.jp

**あらまし** 本論文では SPECT データやシンチグラム画像の収集において用いられているガンマカメラのコリメータの構造について検討を加え、新しいタイプのコリメータを提案するものである。ガンマカメラではガンマ線の入射方向を特定するためにコリメータが用いられているが、このコリメータでは、不必要な（コリメータの孔と平行でない）ガンマ線を阻止するために、阻止能の大きな材質が用いられ、その結果非常に重いという問題がある。このコリメータの構造を、ガンマ線の入射経路とコリメータの隔壁との幾何学的な関係より検討した。そしてガンマ線の通過経路長が一定の長さを有すれば十分な阻止能となることを基に新しいタイプのコリメータを考案した。提案するコリメータでは従来の隔壁構造をやめ、それに変わるものとして格子状にクロスする鉛またはタングステンの四角柱あるいはワイヤを多層に積み上げた構造を採用した。このような構造をとることによって従来とほぼ同じガンマ線阻止能のまま、その重さを従来の数分の1にすることが可能となった。有効性はモンテカルロシミュレーションによって検証した。

**キーワード** 平行多孔型コリメータ, ワイヤコリメータ, SPECT, モンテカルロ

## Proposal of a Light Collimator For SPECT

Koichi OGAWA<sup>†</sup> and Junya KATO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, Hosei University, Kajino-cho 3-7-2, Koganei-shi, Tokyo 184-8584, Japan

E-mail: <sup>†</sup>ogawa@k.hosei.ac.jp, <sup>††</sup>junya@ogw.ei.hosei.ac.jp

**Abstract** In this paper we propose a new lighter collimator than a conventional collimator for SPECT. In the new collimator we made several spaces where a septa locates in the conventional collimator. One of the realistic form of the septa is composed of many rods whose cross section is a square or circle. Rods are aligned in x or y-axis with the interval of a hole side in a layer. We stack the layers alternatively and form a collimator. These rods stop the gamma rays whose incident angle to the collimator is not exactly parallel to the hole. The weight of this collimator is less than a half of the conventional collimator with almost the same performance for stopping power. The performance of the collimator was clarified by the Monte Carlo simulation.

**Key words** Parallel-Hole Collimator, Wired Collimator, SPECT, Monte Carlo

## 1. まえがき

SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)は、患者の体内に放射性医薬品を投与し、そこから放射される光子を被検体外にある検出器で計測して、体内のさまざまな臓器の機能を映像化する技術である。SPECTでは単光子放出核種がガンマ線源として用いられるが、線源から放出されたガンマ線からその飛来方向を特定するためには、特定の方向にのみ光子を通過させる仕組みが必要となる。これを実現しているのがコリメータである。このようにコリメータは、特定の方向にのみ穴が開いていて、その穴と平行な方向以外の角度で飛来するガンマ線を阻止する性能を有しなければならない。穴に平行以外の方向で入射するガンマ線を阻止するためには、そのようなガンマ線を大きく吸収する、すなわち原子番号の大きな材質が有利であり、このため鉛やタングステンという素材が用いられている。コリメータはその穴の形状や穴の個数などで、さまざまな種類のものがあるが、一般的によく用いられているのは平行多孔型のコリメータである。これは厚さ3-4cmの鉛板に直径が1mm程度の孔が数万個開いたものと考えればよい。孔と孔の隔壁の厚さは0.2-0.3mm程度である。この孔の大きさやその数は空間分解能や感度に直接影響する。このようなコリメータの大きな欠点は重いことである。コリメータが重いために、その取り替えが困難であったり、カメラシステムのガントリーが大がかりなものになってしまう。また、現在、半導体検出器によりガンマ線の計測を行うシステムが検討されているが、その場合でもコリメータが必要とされるため、小型、軽量のシステムを望むことはできない。本研究では、このようなガンマカメラシステムで必要不可欠となっているコリメータの構造に着目し、現状と同じ空間分解能、感度、阻止能のまま、その重さを従来の数分の1にすることが可能なものを考案し、その有効性をコンピュータシミュレーションから明らかにした。

## 2. 提案するコリメータについて

画像という観点からは、コリメータの重要な性能は孔の大きさ、孔の数、孔の長さの三つによって決まる。このうち孔の大きさと長さは空間分解能と関係があり、孔が小さく、長いと空間分解能の高い画像を得ることができる。また孔の数は感度と関係があり、孔の数が多いと感度が高くなる。一方、不必要な(コリメータの孔の向きと平行でない)ガンマ線を阻止するという点から考えると、隔壁の厚さが非常に重要なものとなる[1]。図1は、平行多孔型コリメータの断面を模式的に示したものである。今、ガンマ線源がコリメータの孔から離れた点Pにあり、ここから放出されるガンマ線を検出器Dで計測するものと仮定する。ガンマ線は点Pから検出器面Dに向かって直進する。このとき、点PとDを結ぶ直線がコリメータの隔壁と交わらない場合は、直接、ガンマ線が検出器Dに到達することになる。もし、交わった経路の場合は、ガンマ線がコリメータを構成する原子と相互作用をある決まった確率で起こすことになる。相互作用の種類には、光電吸収、干渉性散乱、コンプトン散乱などがあるが、核医学で頻繁に用いられている放射性同位元素(Tc-99m)

のエネルギーが141keVであることを考えると、相互作用のほとんどは光電吸収ということになる。光電吸収が起きた場合には、ガンマ線が消滅して、光電子が放出されるが光電子はガンマ線の計測に寄与しないため、このようなガンマ線のイベントは検出器では計測されないことになる。一方、光子が隔壁を構成する原子と相互作用を起こす確率は、その経路が長くなるほど高くなる。図1において、コリメータの隔壁と光子の経路が交わらず、直接検出器に到達する領域はCである。これに対して、光子の進入が十分阻止される領域はAであり、一部の光子が隔壁を透過して(すなわち隔壁と相互作用を起こさずに)検出器で検出される領域がBである。従来、コリメータの設計基準は、Bの領域に到達する光子を基準に何%透過するかということで行われてきた。ここで、改めて考えてみると、Aの領域に関してはその光子を阻止するのに必要十分な経路長があれば、その長さ以上は本質的には不必要であると考えることができる。このような観点からすると、A領域について一定の経路長を確保しておけば、従来のような壁の構造を持たせなくてもよいとすることができる。壁に変わるものとしては、鉛やタングステンを四角柱を格子状に組んだものや、ワイヤ形状にして格子状に組むものが考えられるし、壁の一部を効率よく抜くことも考えられる。このように、壁の構造から解放された構造をとることによって、重さを従来のコリメータの数分の1程度に低減することが可能になると考えられる。

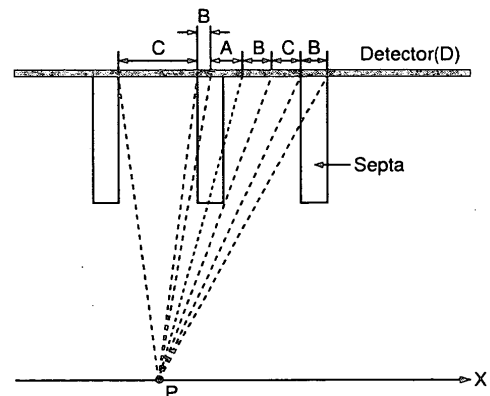


図1 平行多孔型コリメータの断面

## 3. シミュレーション

提案するコリメータの性能を確かめるために図2に示したジオメトリで光子(Tc-99m)を発生させ、光子輸送計算をモンテカルロ法を用いて行った。モンテカルロ法[2]では、光電効果、コンプトン散乱、干渉性散乱を考慮し、EGS4[3][4][5]を用いた。コリメータの厚さは30mmとし、コリメータの直上に検出器をおいた。検出器の感度は100%とし、エネルギー分解能は理想値(無限小)とした。コリメータと線源間の距離は70mmとし、光子は検出器面の40×40mmの領域に均等に放出されるものとし、発生させた光子数は1000万個である。コリメータの表面の面積は33×33mmで、検出器面は11×11画素で構成した(1画素の大きさは3×3mm)。コリメータの材質は鉛とし、その具体的な形状を図3～図5に示す。現在、実際に用いられている

コリメータの穴の形は、その製造手法によって異なり、六角形または円型であるが、本研究では正方形の穴の形を想定している。図3（コリメータ A）は現在用いられている隔壁を有するコリメータの一般的な形を想定したものであり、コリメータは多数の孔と隔壁で構成されている。ここではコリメータの構造を模式化して表すのが目的なので、 $3 \times 3$  画素の部分のみを示している。本研究では、孔の形状を  $2 \times 2\text{mm}$  の正方形とし、隔壁の厚さを  $1\text{mm}$  としている。図4（コリメータ B）は隔壁の代わりにワイヤを用いたもので、ワイヤを縦横に巡らせ簡易の隔壁構造を形成している。ワイヤの直径は  $1\text{mm}$   $\phi$  である。ワイヤは縦横方向に 30 段積み重ねられ、 $30\text{mm}$  のコリメータ厚を形成している。図5（コリメータ C）はコリメータの上下の 2 つの面のみに井戸型の鉛を置き、それらの間を鉛のワイヤで形成したものである。この場合も、井戸の部分のコリメータ隔壁厚さは  $1\text{mm}$ 、ワイヤの直径は  $1\text{mm}$   $\phi$  とした。ワイヤは縦横方向に 28 段積み重ねられ、それらの外側の上下に  $1\text{mm}$  厚の四角柱が並んだ形となっている。なお、これらのコリメータの重さは、コリメータ A, B, C で、それぞれ  $205.82$ ,  $96.99$ ,  $104.25\text{g}$  となっている。

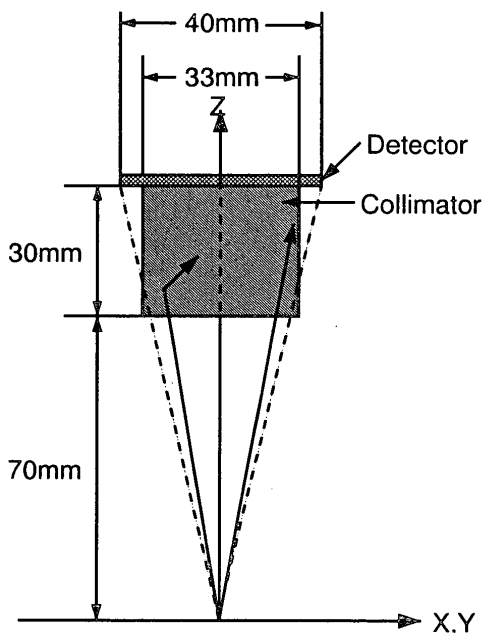


図2 シミュレーションのジオメトリ

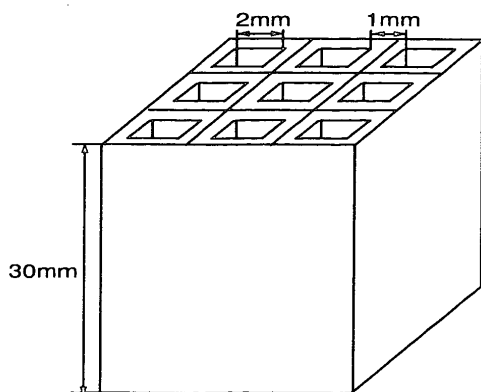


図3 コリメータ A

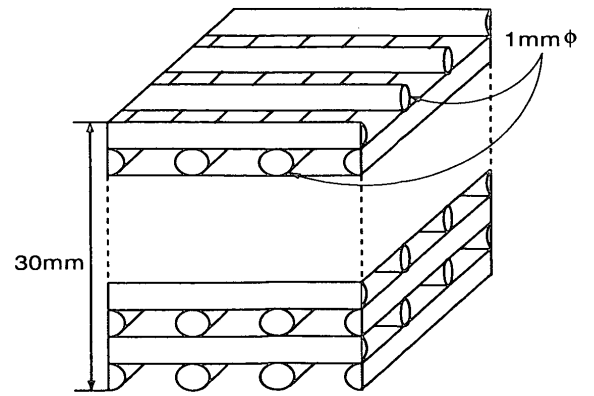


図4 コリメータ B

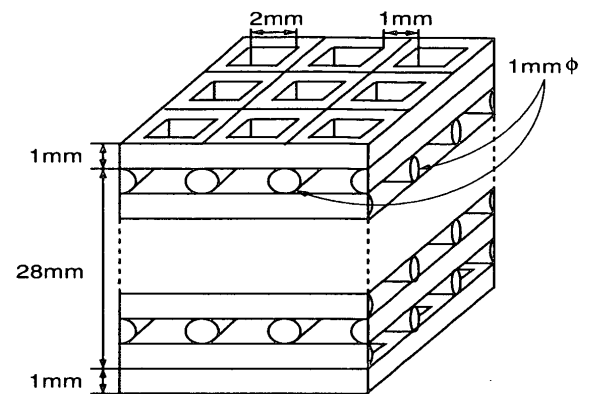


図5 コリメータ C

#### 4. 結果と考察

コリメータ A からコリメータ C までについてシミュレーションを行った結果を表 1~3, 図 6~8 に示す。表 1 はコリメータ A について、線源の直上の  $5 \times 5$  画素の検出器領域に入射した光子の数を示す。それぞれのマスの上段は線源から放出された光子が直接、検出器面に到達した個数、中段は光子がコリメータの隔壁を透過して（相互作用を行わず）検出器に到達した個数、下段はコリメータを構成する鉛の原子と相互作用を行ったのち、検出器面に到達した光子の数を示す。表 2 はコリメータ B についての結果、表 3 はコリメータ C についての結果である。表 1 より、直接検出器に達する光子は、中央の孔で最も多く、その近傍の画素では、見込み角が小さくなるに従って入射光子数が減少していることがわかる。また、中央の画素と隣り合う画素で透過光子の数が大きくなっていることがわかる。表 2 からは隔壁の代わりにワイヤを用いると、直接、検出器面に入射する光子も、透過光子の数も増大していることがわかる。検出器面に直接入射する光子の数が増大するのは、おのおのの孔に対する光子の見かけの入射面積が変わったためであり、これはコリメータの断面形状が長方形から円形が変わったためと考えられる。ところが、表 3 に示すように上下の面でのコリメーションを四角柱の組み合わせで十分に行うことにより、表 1 とほぼ同等の性能が得られていることがわかる。この場合、重さはほぼ半分になっている。

また、図6, 7, 8はそれぞれコリメータ A,B,C について、検出器面に到達した光子のエネルギースペクトルを示したものである。この結果より、散乱線の割合がコリメータ B で多いことがわかる。

以上のことから、提案したコリメータ構造は、従来のコリメータとほぼ同じ性能を有し、重さが半分になっていることがわかる。また、コリメータの上下面の構造が重要であり、更に間のワイヤを間引くことによりコリメータの重さというのはより軽くなるものと考えられるが、これは今後の課題としたい。

表1 コリメータ A : 検出光子数  
上段 - 直接, 中段 - 透過, 下段 - 相互作用

0	0	0	0	0
1	19	25	15	1
21	55	71	49	16
0	8096	14285	8142	0
15	438	460	442	17
38	81	83	78	55
0	14301	24876	14299	0
35	418	217	445	29
74	93	108	106	70
0	8135	14216	8207	0
18	427	434	428	10
50	75	100	87	44
0	0	0	0	0
1	22	34	21	2
19	57	72	57	22

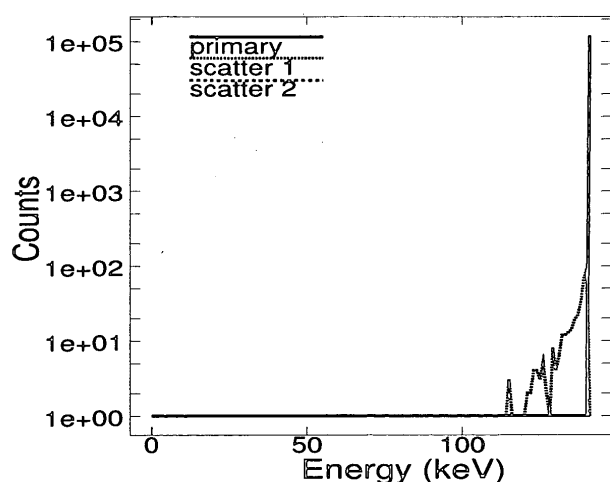


図6 エネルギースペクトル (コリメータ A)

表2 コリメータ B : 検出光子数  
上段 - 直接, 中段 - 透過, 下段 - 相互作用

3	328	529	318	3
128	979	1546	956	114
34	116	130	91	36
89	9238	15617	9404	87
962	1369	1424	1358	1020
76	116	126	104	87
163	15352	25391	15317	149
1558	1425	1058	1380	1549
106	106	128	125	102
76	9311	15478	9406	69
989	1366	1369	1357	995
66	106	126	123	84
5	306	473	300	2
119	1000	1564	979	133
44	96	138	99	43

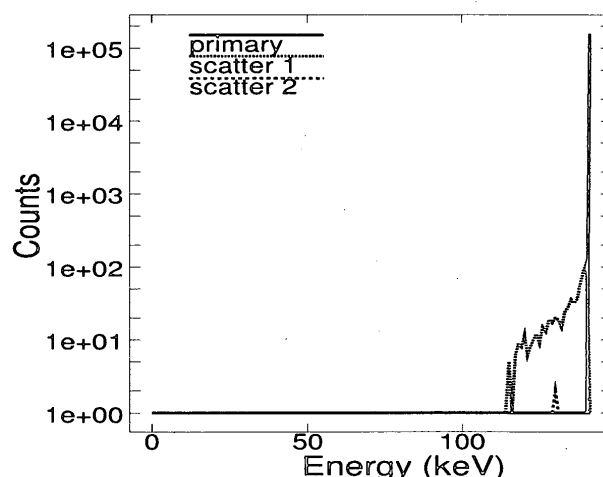


図7 エネルギースペクトル (コリメータ B)

表3 コリメータ C : 検出光子数  
上段 - 直接, 中段 - 透過, 下段 - 相互作用

0	0	0	0	0
16	142	204	130	10
28	52	77	62	16
0	8105	14282	8174	0
105	588	626	589	130
39	93	106	89	47
0	14251	24838	14256	0
169	567	315	558	181
78	98	131	122	84
0	8130	14272	8216	0
110	577	550	555	147
60	86	98	114	57
0	0	0	0	0
13	133	243	135	15
18	53	77	62	26

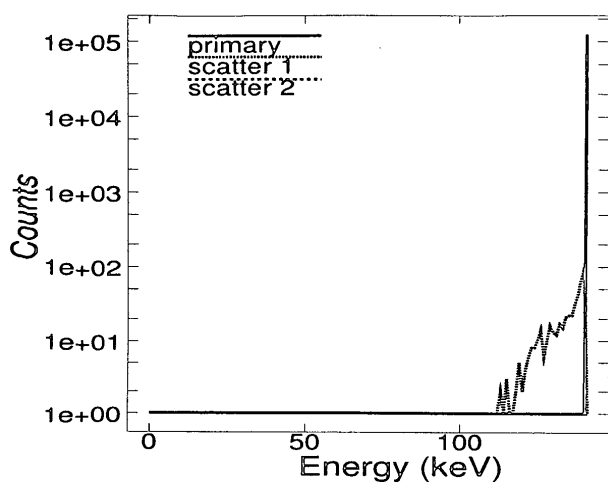


図8 エネルギースペクトル (コリメータ C)

## 5. む す び

SPECTに用いられているコリメータを軽量化するために、平面状の隔壁を用いないコリメータを提案した。シミュレーション結果は、提案するコリメータが有効なものであることを裏付けた。

## 文 献

- [1] G. H. Simmons, "The Scintillation Camera," The Society of Nuclear Medicine, New York, 1988.
- [2] D. E. Raeside, "Monte Carlo Principles and Applications," *Phys Med Biol*, vol.21, pp.181-197, 1976.
- [3] W. R. Nelson, H. Hirayama and D. W. O. Rogers, "THE EGS4 CODE SYSTEM," SLAC-Report-265, December 1985.
- [4] Y. Namito, H. Nakamura and H. Hirayama, "Lecture Note Installation of EGS4(Revised in 1999)," High Energy Accelerator Research Organization, June 1999.
- [5] H. Hirayama and Y. Namito, "Lecture Notes of EGS4 Course at KEK," High Energy Accelerator Research Organization, July 1999.