

一般セッション | II. 放射線工学と加速器・ビーム科学および医学利用：202-2 放射線物理，放射線計測

📅 2025年3月13日(木) 14:45 ~ 15:55 📍 B会場(Zoomルーム2)

## [2B09-12] 回路開発・評価技術

座長:平田 悠歩(JAEA)

14:45 ~ 15:00

[2B09]

プログラマブルSoCを用いたワンチップ放射線計測モジュールの拡充(3)

簡易デジタルパルス発生方式の性能評価

\*前川 立行<sup>1</sup> (1. 技術士事務所 TM RAMS Consulting)

15:00 ~ 15:15

[2B10]

電子トラッキングコンプトンイメージングのための自己トリガー機能を備えたシリコンピクセル検出器の開発と性能評価

\*関口 輝<sup>1</sup>、島添 健次<sup>1</sup>、Hamdan Moh<sup>1</sup>、上ノ町 水紀<sup>2</sup>、大久保 悠史<sup>3</sup>、松永 大輔<sup>3</sup> (1. 東京大学、2. 東京科学大学、3. 株式会社堀場製作所)

15:15 ~ 15:30

[2B11]

Outer Layer Scintillation (OLS) ファイバーを用いた波長分解分析に基づく一次元アルファ線分布測定法の検討

\*寺阪 祐太<sup>1</sup> (1. JAEA)

15:30 ~ 15:45

[2B12]

クリアランス測定容器へのランダム収納による放射能換算係数への影響評価 (4)

三次元シミュレーションツールの開発

\*渡邊 将人<sup>1</sup>、葛谷 敏男<sup>2</sup> (1. 中部電力、2. テクノ中部)

15:45 ~ 15:55

座長持ち時間

# プログラマブル SoC を用いたワンチップ放射線計測モジュールの拡充 (3) ー簡易デジタルパルス発生方式の性能評価ー

Expansion of a one-chip radiation instrumentation module using a programmable SoC

- Performance evaluation of a simple digital pulse generation system -

\*前川 立行

技術士事務所 <sup>ティーム ラムズ</sup> TM RAMS Consulting

ランダムパルス発生のための新しい簡素なデジタル方式を提案してきた。今回、全体回路を実装して動作検証と試験を行ない、方式自体の制約も含めて性能評価した

**キーワード：** SoC、デジタル、ランダムパルス、乱数、ポアソン分布、確率密度関数

## 1. 簡素な新デジタル処理方式

本開発は、放射線計測器開発の過程で、線源を使わずに行う計数率特性の予備評価等のための簡易な手段提供を目的に進めてきた。提案した方式では、ポアソン分布の時間間隔確率密度テーブルを走査クロックで比較レジスタに DMA 転送し、一様乱数との比較でサンプリングし、パルス出力タイミングを決定する<sup>[1]</sup>。この方式は、FPGA 等による高速・大量の演算処理が不要で、ワンチップ SoC に全機能を実装することができるという極めて簡素でミニマルなものである。今回実装した素子を用いた性能評価を行うと共に、確率密度値と乱数値を共に整数離散化したことから生じる理論値からのずれの影響と制約についても確認した。

## 2. 周期パルス動作による安定動作の確認

1MHz の走査クロックを用い、確率密度テーブルの設定により周期パルスを発生させた。図 1 は、8 つの周波数設定に対して、内蔵した TDC で時間差分布を測定した結果を示す。理論値通りの時間周期/周波数の出力が安定して得られており、DMA 転送や DMA リセット等に係る揺らぎも無く、設定値と出力値に完全な線形性があることを確認した。

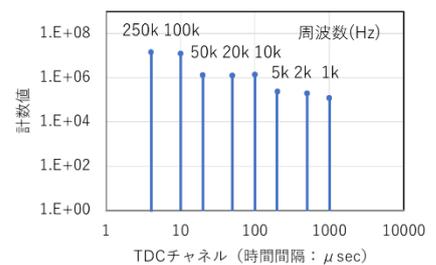


図 1 周期パルスの時間間隔分布

## 3. ランダムパルスのポアソン時間間隔分布の確認

確率密度テーブルをポアソンの時間間隔確率密度テーブルに戻し、走査クロックを 1MHz～10KHz にして動作させ、先と同様に内蔵 TDC で時間間隔分布を測定した結果を図 2 に示す。設計通りの指数減衰関数分布が得られることを確認した。相対確率が小さい領域に離散化による階段状の分布が残るが、これは離散化ビット数を更に増やすことで圧縮できる。この階段状の領域は時間間隔の揺らぎを理論値よりも大きくすることに繋がると思われる。このため、一定時間毎の計数の繰り返し実験を行った結果、16 ビットの量子化では標準偏差の値がポアソン分布の理論値より 1.6 倍程度大きくなることを確認した。この程度は離散化ビット数を増やす事で圧縮可能であるが、一方で LFSR 乱数の周期性にも注意が必要であることも判った。

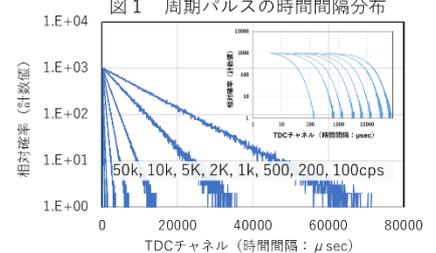


図 2 ランダムパルスの時間間隔分布

## 4. まとめ

新しく提案した 1 ビットデジタル方式により 0～50kcps 程度のランダムパルス列が得られることを検証した。計数統計の実験等に使う際には、離散化ビット数についての最適化・選定が必要ではあるが、当初目的とした放射線計測器の計数率特性予備評価等には十分応えることができるものと判断する。

## 参考文献

[1] 前川, プログラマブル SoC を用いたワンチップ放射線計測モジュールの拡充, 1A03, 日本原子力学会秋の大会 (2024)

\*Tatsuyuki Maekawa, P.E. Office TM RAMS Consulting.

# 電子トラッキングコンプトンイメージングのための自己トリガー機能を備えたシリコンピクセル検出器の開発と性能評価

## Development and Performance Evaluation of Silicon Pixel Detectors with Self-Trigger Function for Compton Imaging with Electron Tracking

\*関口 輝<sup>1</sup>, 島添 健次<sup>1</sup>, Moh Hamdan<sup>1</sup>, 上ノ町 水紀<sup>2</sup>, 大久保 悠史<sup>3</sup>, 松永 大輔<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 東京科学大学, <sup>3</sup> 株式会社堀場製作所

電子トラッキングコンプトンイメージングは物理的なコリメータを必要としない有望なガンマ線イメージング手法である。これを実現するため、ASIC 付きシリコンピクセル検出器を開発し基本性能の評価を行った。

キーワード：放射線計測、コンプトンイメージング、シリコンピクセル検出器

### 1. 緒言

従来のコンプトンイメージングの課題である再構成画像の歪みや低信号雑音比 (SNR) などを解決するには、散乱体内の反跳電子の軌跡を計測することで線源の位置をより正確に特定することが有効であると考えられる。そこで我々は、堀場製作所製のシリコンピクセル検出器と TSMC 社製の ASIC を組み合わせて、自己トリガー機能を備えた電子飛跡を検出できる検出器を開発し、その基本性能の評価を行った。

### 2. 実験

#### 2-1. 手法

シリコンピクセル検出器のピクセルサイズは  $18\ \mu\text{m}$ 、ピクセル数は  $168 \times 168$ 、チップサイズは  $4.3\ \text{mm} \times 4.3\ \text{mm}$ 、厚みは  $450\ \mu\text{m}$  である。また、ASIC は TSMC 社の  $0.25\ \mu\text{m}$  CMOS 技術を用いて製作し、ピクセルサイズは  $18\ \mu\text{m}$  である。ピクセル回路は図 1 の通り。

まず、 $24^\circ\text{C}$  の環境で  $0\ \text{V}$  から  $200\ \text{V}$  までの電圧を印加し、検出器の I-V 特性を計測した。次に、髪の毛を検出器の上に置いた状態でレーザー光を照射し、フレームモードでの性能を評価した。さらに、放射性核種を用いたイベントモードでのエネルギースペクトルの計測も行う予定である。

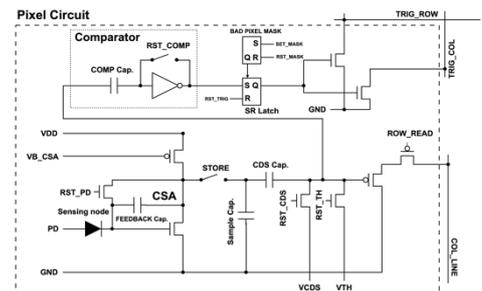


図 1 ASIC のピクセル回路

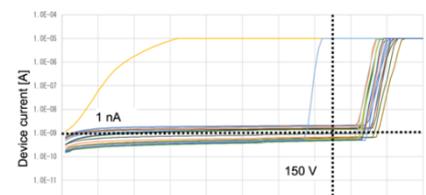


図 2  $24^\circ\text{C}$  での I-V 特性

#### 2-2. 結果

I-V 特性は図 2 のようであった。また、フレームモードでの性能評価に関して、髪の毛の影は正しい大きさを示した。エネルギースペクトルの計測によって検出器のエネルギー分解能も評価できると考えられる。

### 3. 結論

電子トラッキング型コンプトンイメージングのための ASIC 付きシリコンピクセル検出器の基本性能を評価した。今後は、電子トラッキングに関する性能評価なども行い、検出器のコンプトンカメラへ実装を進めたい。

\*Hikaru Sekiguchi<sup>1</sup>, Kenji Shimazoe<sup>1</sup>, Moh Hamdan<sup>1</sup>, Mizuki Uenomachi<sup>2</sup>, Yuji Okubo<sup>3</sup>, and Daisuke Matsunaga<sup>3</sup>

<sup>1</sup>The University of Tokyo, <sup>2</sup>Institute of Science Tokyo, <sup>3</sup>HORIBA, Ltd.

# Outer Layer Scintillation (OLS) ファイバーを用いた波長分解分析に基づく 一次元アルファ線分布測定法の検討

Investigation of a one-dimensional alpha ray distribution measurement method based on wavelength-resolving analysis using Outer Layer Scintillation (OLS) fiber

\*寺阪 祐太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA

クラッドの外層に薄膜プラスチックシンチレータを配することでアルファ線に対して感度を持たせた光ファイバーである Outer Layer Scintillation (OLS) ファイバーに波長分解分析法を適用し、アルファ線分布の一次元測定について基礎検討を行った。

**キーワード** : Outer Layer Scintillator、アルファ線、光ファイバー、波長分解

## 1. 緒言

福島第一原子力発電所（1F）の廃炉作業工程には高濃度に汚染した配管の撤去作業が含まれる。ここで、配管内にアルファ線放出核種が存在した場合には配管切断時にアルファダストが飛散する恐れがあり、アルファ核種の内部取り込みリスクが増大する。そのため、配管切断前に事前にアルファ核種の有無を把握することは、内部取り込み防止の観点から極めて重要である。本研究では配管内アルファ線放出核種測定センサーとして Outer Layer Scintillation (OLS) ファイバーに着目し、OLS ファイバーにアンフォールディング法を適用した一次元アルファ線分布測定法の基礎検討を行った。

## 2. 原理

本研究ではアルファ線の一次元センサーに OLS ファイバーを使用する。OLS ファイバーはファイバーシンチレータのクラッド外層に薄膜シンチレータを配した構造となっている。アルファ線が OLS 外層の薄膜シンチレータを励起し、青色のシンチレーション光が発生する。このシンチレーション光が OLS ファイバーのコアを励起し、緑色のシンチレーション光に変換される。この緑色のシンチレーション光をファイバー端で検知することで、アルファ線の測定が可能となる。本研究で開発した一次元アルファ線検出器は①センサー部の OLS ファイバー（コア径  $\phi 1.0$  mm、長さ 3 m）、②光伝送部の石英光ファイバー（Thorlabs FP400URT、コア径  $\phi 0.4$  mm、長さ 10 m）、③受光部のポータブル分光器で構成される。OLS ファイバーの発光を、石英光ファイバーを介して分光器で受光し、波長スペクトルを得る。ここで、波長スペクトルを波長ごとに離散化し、アンフォールディング処理を施すことで、元の放射線入射位置情報の逆指定が可能となる。本研究では OLS ファイバーに  $^{241}\text{Am}$  アルファ線源（4 MBq）を密着させ波長スペクトルを測定し、そのアンフォールディング処理により元の線源位置の逆推定を試みた。

## 3. 基礎評価結果

基礎評価試験結果を図 1 に示す。図 1(a)より、 $^{241}\text{Am}$  の位置が読み出し側から遠くなるにしたがって波長スペクトルが減衰していくことと同時に、そのスペクトル形状も次第に変化していく様子が確認できる。波長スペクトルにアンフォールディング法を適用した結果、図 1(b)のとおり大まかな線源位置分布の逆推定に成功した。このことから、本検出器を用いてアルファ線由来の波長スペクトルを測定できること、大まかな線源位置を逆推定可能であることが確認できた。

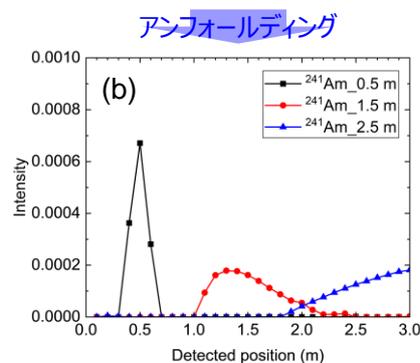
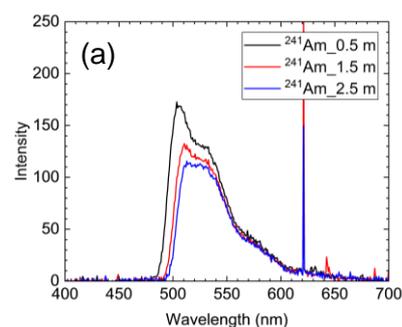


図 1(a) 波長スペクトル測定結果と  
(b)アンフォールディング結果。

\*Yuta Terasaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA

## クリアランス測定容器へのランダム収納による放射能換算係数への影響評価 (4) 三次元シミュレーションツールの開発

Evaluation of the effect of random storage in clearance measurement containers  
on the radioactivity conversion factor (4)

Development of 3D simulation tool

\*渡邊 将人<sup>1</sup>、葛谷 敏男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中部電力、<sup>2</sup>テクノ中部

廃止措置で発生する解体撤去物（金属くず）を対象としたクリアランス測定装置において、異なる形状の解体物をランダム収納しても放射能を測定評価できる技術開発として、三次元体系で、測定容器内へのランダム収納を模擬し、これらをボクセル化して遮蔽計算で放射能換算係数を取得するツールを開発したので報告する。

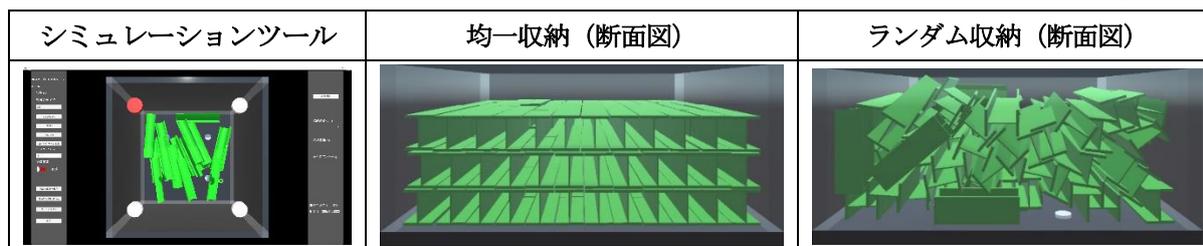
**キーワード：**クリアランス、BWR、放射能濃度、二次的な汚染、密度、線源、偏在

### 1. 緒言

浜岡原子力発電所1、2号機の廃止措置に使用しているクリアランス測定装置において、測定容器への同一形状・均一収納するための前処理費用のコストダウンを目的に、異なる形状をランダム収納しても放射能測定評価できる技術開発に取り組んでいる。本研究では、前回報告<sup>[1]</sup>した二次元体系におけるランダム収納の放射能換算係数を計算するツールを三次元体系に拡張した。

### 2. 三次元シミュレーションツールの概要

このツールは、収納作業の模擬部と放射能換算係数の計算部の二つで構成される。模擬部は、物理エンジンを利用することで物体間の接触による物体の停止を模擬できるので、位置条件を変えた複数回の試行が容易にできる。一方、計算部は、容器内の物体をボクセル化して、ボクセル内の線源から検出器までの遮蔽計算を行う。線源を含むボクセル毎に遮蔽計算を繰り返し行うことで、汚染上限モデルに基づく放射能換算係数を取得する。



### 3. 今後の展開

現場ニーズのあるランダム収納とは、クリアランス測定容器に同一形状ではない解体物を、できるだけ稠密に測定容器に収納することである。解体物を容器に投げ入れるようなランダム収納をすると、収納作業量は減るが、容器内のかさ密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) が小さくなり、保管重量に対して容器数が増え保管場所を圧迫する。

今後、同一形状ではない解体物の稠密な収納を複数回試行して、放射能換算係数の変動幅を評価する。最終的に、変動幅を適切に考慮する放射能換算係数（片側95%上限値など）を設定する予定である。

**参考文献** [1] 渡邊 他, 日本原子力学会 2023年 秋の大会, 3F07 (2023).

\* Masato WATANABE<sup>1</sup>, Toshio KUZUYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Chubu Electric Power Co., Inc., <sup>2</sup> Techno Chubu Co., Ltd.