

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 202-2 Radiation Physics,  
Radiation Detection and Measurement

📅 Wed. Sep 11, 2024 10:30 AM - 11:55 AM JST | Wed. Sep 11, 2024 1:30 AM - 2:55 AM UTC 🏠 Room  
A(Recture RoomsA 1FA101)

## [1A01-05] Radiation Detector, Laser Spectroscopy

Chair:Yoshiharu Kitayama(JAEA)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[1A01]

Study on a calibration method of beta-ray spectrometer

\*Kenichi Watanabe<sup>1</sup>, Takumi Ono<sup>2</sup>, Hidesuke Itadzu<sup>2</sup> (1. Kyushu Univ., 2. SEIKO EG&G)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1A02]

Characterization of TlBr Gamma Detector Based on Electrical Charge and Cherenkov Light Analysis

\*Boyu Feng<sup>1</sup>, Moh HAMDAN<sup>1</sup>, Keitaro Hitomi<sup>2</sup>, Mizuki Uenomachi<sup>3</sup>, Mitsuhiro Nogami<sup>2</sup>, Hidenori Toyokawa<sup>4</sup>, Kenji Shimazoe<sup>1</sup> (1. UTokyo, 2. Tohoku Univ., 3. Tokyo Tech, 4. JASRI)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[1A03]

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

- Basic design and validation of a random pulse generator -

\*Tatsuyuki Maekawa<sup>1</sup> (1. TM RAMS Consulting (P.E. Office))

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[1A04]

Observation of gadolinium resonance absorption signals using laser plasma with microwave irradiation

\*Yoshihiro Iwata<sup>1</sup>, Masaki Ohba<sup>1</sup>, Masabumi Miyabe<sup>1</sup>, Ryohei Terabayashi<sup>2</sup>, Shuichi Hasegawa<sup>2</sup> (1. JAEA, 2. UTokyo)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[1A05]

Development of isotopic analysis based on high-resolution Doppler-free resonance excitation spectroscopy

\*Masabumi Miyabe<sup>1</sup>, Yoshihiro Iwata<sup>1</sup>, Shuichi Hasegawa<sup>2</sup> (1. JAEA, 2. The University of Tokyo)

11:45 AM - 11:55 AM JST | 2:45 AM - 2:55 AM UTC

Time reserved for Chair

# ベータ線スペクトロメータの校正方法に関する検討

Study on a calibration method of beta-ray spectrometer

\*渡辺 賢一<sup>1</sup>, 小野 拓実<sup>2</sup>, 板津 英輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>セイコーEG&G

Sr-89, Sr-90, Y-90 の定量を行うためのベータ線スペクトロメータの校正方法に関する検討を行った。特に、Sr による自己遮蔽の校正について検討を進めた。

**キーワード**：ベータ線スペクトロメータ, 校正, Sr-89, Sr-90, Y-90, 自己遮蔽

## 1. はじめに

放射性 Sr である Sr-90 および Sr-89 はほとんどベータ線しか放出しないため、その定量にはベータ線を計測する必要がある。特に Sr-90 については、娘核種である Y-90 と共存することになり、単純なベータ線計数法では、Sr-90 と Sr-89 を別々に定量するには、ミルキング法と呼ばれる手法を用いる必要がある[1]。ミルキング法では、Sr-90 と Y-90 が放射平衡に達するのを待つ必要があり、非常に時間のかかる分析となる。低バックグラウンドのベータ線スペクトロメータを用いると、得られるベータ線スペクトルは、Sr-89, Sr-90 および Y-90 のベータ線スペクトルの重ね合わせになるため、原理的には、これらを別々に定量することが可能となる。しかしながら実際の測定では、Sr 量が多い場合には、試料そのもの自己遮蔽によりスペクトルが歪むことで、スペクトル分離の際の誤差要因となる。これを補正するためには、Sr 量の異なる標準試料を用い、自己遮蔽効果を含めた校正測定が必要となる。

上記の校正測定には、Sr 量の異なる各々数種類の純粋な Sr-89, Sr-90 の標準試料を準備する必要がある。さらに、Sr-90 の測定は、Y-90 の混入を最小にするため、Sr から Y を分離後すぐに実施する必要がある。つまり、校正測定には、校正の都度、多くの標準試料を準備する必要がある、非常にコストのかかる測定となる。本研究では、校正測定の標準試料準備の負担を軽減するための方法論について、モンテカルロシミュレーションベースで検討を行った。

## 2. シミュレーション計算

シミュレーション計算には、モンテカルロシミュレーションコード PHITS を用いた。ベータ線スペクトロメータの試料部、検出媒体であるシンチレータ部、について模擬し、得られる信号波高スペクトルを計算した。検出サンプルとなる SrCO<sub>3</sub> の量を変化させることで自己遮蔽の効果についても計算し、その効果について検討を行った。図 1 に自己遮蔽によるスペクトル減衰率を示す。これは、各線源で SrCO<sub>3</sub> の量が 83 mg の時のスペクトルを 0 mg の時のもので除したものである。カウント数の大部分を占める低エネルギー域で、線源に依らず同様の傾向を示すことを見出した。この特徴を模擬できるような、減衰フィルタを設計することで、校正の都度、量の異なる標準試料を準備することなく、自己遮蔽の無い試料と模擬減衰フィルタを用いた校正測定が可能かどうかについての検討を行った。

## 参考文献

[1] 文部科学省、放射能測定法シリーズ2 放射性ストロンチウム分析法 (2003)

\* Kenichi Watanabe<sup>1</sup>, Takumi Ono<sup>2</sup> and Hidesuke Itadzu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Univ., <sup>2</sup>SEIKO EG&G

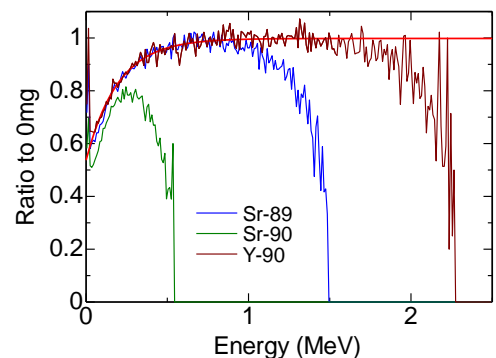


図 1 自己遮蔽によるスペクトル減少率。  
試料量 83 mg を 0 mg で除したもの。

# 電荷およびチェレンコフ光の解析に基づく TlBr ガンマ線検出器の特性評価

Characterization of TlBr Gamma Detector Based on Electrical Charge and Cherenkov Light Analysis

\*封 博宇<sup>1</sup>, Moh HAMDAN<sup>1</sup>, 人見 啓太朗<sup>2</sup>, 上ノ町 水紀<sup>3</sup>,  
野上 光博<sup>2</sup>, 豊川 秀訓<sup>4</sup>, 島添 健次<sup>1</sup>

<sup>1</sup>東京大学, <sup>2</sup>東北大学, <sup>3</sup>東京工業大学, <sup>4</sup>JASRI

In this study, we developed a Thallium Bromide (TlBr) semiconductor detector, featuring a pixelated anode and a planar cathode, for room-temperature gamma-ray detection. Time resolution assessments indicated potential performance in the picosecond range, showcasing the capability of TlBr for precise energy resolution and time resolution.

**キーワード** : 臭化タリウム検出器, チェレンコフ光, ガンマ線検出器

## 1. 緒言 (Introduction)

Thallium Bromide (TlBr) semiconductors are highly valued for room-temperature gamma-ray detection due to their high crystal resistivity and photon-stopping power. [1] Detecting Cherenkov photons from gamma-ray interactions significantly enhances the timing performance of TlBr detectors. [2][3] This study focuses on characterizing TlBr by analyzing electrical charge carriers and Cherenkov light, emphasizing energy resolution, drift time, and time resolution.

## 2. 実験方法 (Method)

TlBr detector consisted of a 5 mm × 5 mm × 5 mm crystal with a planar cathode, pixelated anode, and surrounding ground electrode to minimize pulse-height loss from hole trapping. Signals from charge carriers and Cherenkov light were read concurrently. The waveform characteristics are influenced by recombination, trapping, electric field non-uniformity, and variations in charge collection efficiency. Therefore, we perform depth of interaction (DoI) analysis based on the pulse height of charge carrier signals to enhance energy resolution.

## 3. 結果(Result)

The energy resolution of TlBr improved to 1.94% FWHM at 662 keV with the filtered waveform-based depth of interaction analysis, correlating time drift (2 μs to 30 μs) with the DoI parameters. The 5 × 5 × 5 mm<sup>3</sup> TlBr crystal achieved a time resolution of approximately 511 ps at 6 p.e.

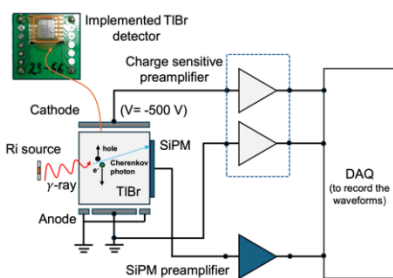


Fig.1. TlBr characterization using electrical and optical readout system

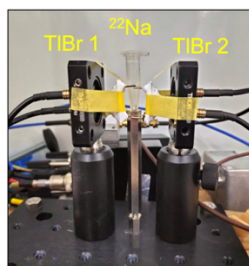


Fig.2. Experimental setup

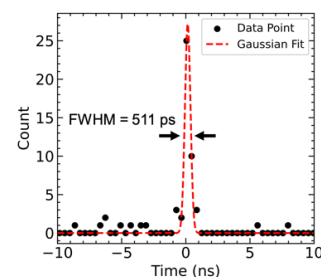


Fig.3. Time resolution distribution at 6 p.e.

## 参考文献(Reference)

- [1] K. Hitomi et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 607 (2009) 112–115.
- [2] Hitomi K et al., 2023 Jpn. J. Appl. Phys. 62 081001.
- [3] Ariño-Estrada G et al., 2021 Phys. Med. Biol. 66 044001.

\*Boyu Feng<sup>1</sup>, HAMDAN Moh<sup>1</sup>, Keitaro Hitomi<sup>2</sup>, Mizuki Uenomachi<sup>3</sup>, Mitsuhiro Nogami<sup>2</sup>, Hidenori Toyokawa<sup>4</sup>, Kenji Shimazoe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UTokyo., <sup>2</sup>Tohoku Univ., <sup>3</sup>Tokyo Inst. of Tech., <sup>4</sup>JASRI.

# 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 (2) — ランダムパルサの基本設計と検証 —

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

- Basic design and validation of a random pulse generator -

\*前川 立行

技術士事務所 ティーム ラムズ TM RAMS Consulting

スペクトロメータの性能試験等で必要となるランダムパルス発生機能を、ワンチップ SoC に実装する提案を行ってきた。今回、具体的な設計検討を進め、基本機能部分を実装し、その動作と性能を検証した。

**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の提案

FPGA 等による高速・大量のデータ処理を必要とせず、ワンチップ SoC のみでランダムパルスを生成することができる簡素な新方式を提案してきた。これは、ポアソン分布における時間間隔確率密度の相対値（整数）を配列に格納し、 $t=0$  から実時間で走査して一様乱数で設定した値を下回った時点でパルスを生成するものである。今回、平均 10kcps のランダムパルスを生成する基本回路を実装し、動作と性能を評価した。

## 2. 基本機能部分の実装

実装した回路の機能ブロックを図 1 に示す。基本設計時は、到時間間隔の分布形状にあまり関心を払わず、専ら平均時間間隔  $\tau$ （計数率  $r$  の逆数）の精度の観点から走査時間や乱数ビット数を検討し、8bit システムでの具体検討を進めてきた。しかし、設計進捗の中で、シェーピングアンプの BLR (Base Line Restorer) 応答評価では、隣接するパルスの時間差パターンも極めて重要であるため、時間間隔分布形状についても、理論値に近いものが得られることが望ましいと考えるに至った。このため、疑似乱数のビット数を 8bit から 16bit に拡張し、全体の実装設計もまた、16bit ベースで進めた。

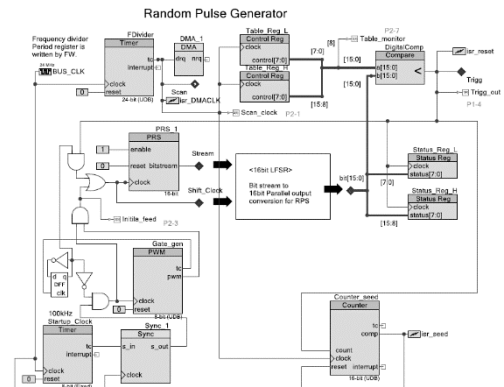


図 1. 実装した回路機能ブロック

## 3. 基本動作と性能検証結果

図 1 中の Trigg 出力の時間差分布を、SoC 中に構築した TAC 回路で測定した結果を図 2 に示す。確率密度関数を示す指数減衰分布（対数プロットでは直線）が得られており、ポアソン分布に沿ったランダムパルスの出力が確認できた。測定で得られた分布の加重平均値は  $103.5 \mu s$  であり、計算評価値 ( $100.5 \mu s$ ) に対して  $3 \mu s$  長い。この原因の一つとして、DMA 転送の強制停止・再始動に係るデッドタイムが考えられ、現在検討を進めている。

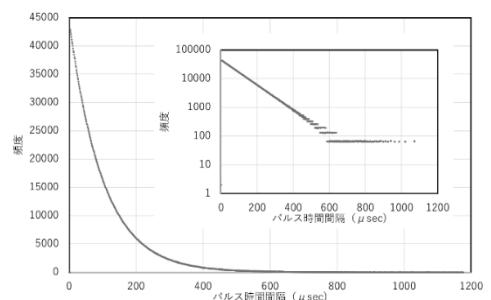


図 2. 時間間隔分布の測定結果

## 4. 今後の予定

今回の試作評価で、新たに提案した簡素なデジタル処理方式により、ランダムパルスが得られることが検証できた。今後、より詳細な性能評価や改善・検証を進め、性能限界を明らかにすると共に、計数率の可変機能等を含めた実用的機能についての実装も進めていく。

## 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, 2H16, 日本原子力学会春の年会 (2024)

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

## マイクロ波照射レーザープラズマを用いたガドリニウム共鳴吸収信号の観測

Observation of gadolinium resonance absorption signals using laser plasma with microwave irradiation

\*岩田 圭弘<sup>1</sup>, 大場 正規<sup>1</sup>, 宮部 昌文<sup>1</sup>, 寺林 稜平<sup>2</sup>, 長谷川 秀一<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学

強い放射線環境下における遠隔元素・同位体分析に向けて、マイクロ波照射レーザープラズマを用いた共鳴吸収分光法の開発を行っている。本研究では、ガドリニウム焼結試料から生成したプラズマに波長 422.7 nm 半導体レーザーを照射し、ガドリニウム共鳴吸収信号の空間分布及び時間変化を観測した。

**キーワード:** ガドリニウム, レーザープラズマ, 共鳴吸収, マイクロ波

### 1. 緒言

高強度パルスレーザーを試料に照射 (LA: レーザーアブレーション) して発生するレーザープラズマを用いた共鳴吸収分光法は、試料の複雑な前処理が不要であり強い放射線環境下における遠隔元素・同位体分析に有用である。しかし、ウラン及びガドリニウム (Gd) 等大気中で酸化が進みやすい元素では、プラズマが拡散する前に酸化物が形成され吸収信号が消える。本研究では、LA 生成プラズマにマイクロ波を照射することで、レーザープラズマの再励起及び酸化物解離を利用した共鳴吸収分光法の開発を行っている。

### 2. マイクロ波照射による Gd 共鳴吸収信号の観測

Gd 原子の波長 422.7 nm 遷移 ( $6s^2\ ^9D_6 \rightarrow 6s6p\ ^9F_7$ )

[1]に着目し、大気下で波長 532 nm ナノ秒パルスレーザーを酸化 Gd 焼結試料に照射した。発生した LA 生成プラズマにマイクロ波及び半導体レーザーを照射し、Gd 共鳴吸収信号の時間変化をオシロスコープで観測した (図 1)。赤・緑・青線は、半導体レーザー周波数が共鳴・共鳴-5 GHz・共鳴-100 GHz で、黒線は共鳴でマイクロ波照射なしのデータである。

LA から 10  $\mu$ s 程度で酸化が進み吸収量が低下するが、マイクロ波照射により酸化物が解離し 40  $\mu$ s 付近をピークとした共鳴吸収信号が観測されたと考えられる。

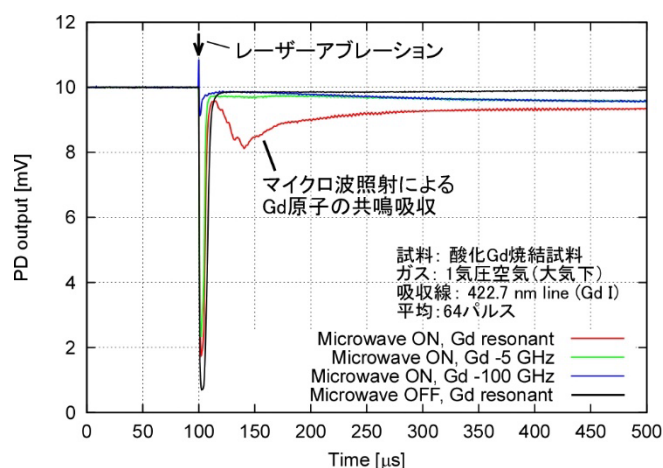


図 1 マイクロ波照射による Gd 共鳴吸収信号 (縦軸は LA 前の出力 10 mV に補正)

### 3. 結言

酸化 Gd 焼結試料の LA 生成プラズマを用いて、マイクロ波照射による Gd 共鳴吸収信号を観測した。

### 参考文献

[1] K. Blaum et al., Eur. Phys. J. D **11** (2000) 37-44.

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP24K01406 の助成を受けた内容を含みます。

\*Yoshihiro Iwata<sup>1</sup>, Masaki Ohba<sup>1</sup>, Masabumi Miyabe<sup>1</sup>, Ryohei Terabayashi<sup>2</sup> and Shuichi Hasegawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>The University of Tokyo

## 高分解能ドップラーフリーアブレーション共鳴分光法による核種分析法の開発

Development of isotopic analysis based on high-resolution Doppler-free resonance excitation spectroscopy

\*宮部 昌文<sup>1</sup>, 岩田 圭弘<sup>1</sup>, 長谷川 秀一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>原子力機構、<sup>2</sup>東京大学

固体表面にパルスレーザー光を照射して生じるレーザープラズマに、波長可変レーザー光を吸収させることで原子を励起し、その蛍光や吸収信号から物質の核種組成を遠隔・非接触で測定する手法を開発している。従来の方法では室温程度のドップラー拡がりにより波長分解能が制限されていたが、2波長2段階ドップラーフリー分光法によって、同位体シフトの小さい核種の分析が可能となった。

**キーワード：** レーザーアブレーション、同位体分析、ドップラーフリー分光

**1. はじめに** 東京電力福島第一原子力発電所の廃炉で発生する強い放射能を有する燃料デブリ等の廃炉関連物質の核種分析にレーザーアブレーションを用いた遠隔分析法を適用することを検討している。レーザープラズマの発光から分析を行う方法(レーザー誘起ブレイクダウン分析法(LIBS))は、発光線波長の同位体毎の差を識別するだけの波長分解能を得ることが難しい場合が多く、より波長分解能の高い分光法が必要とされている。そこで我々は、レーザープラズマに2本の共鳴レーザー光を対向させて照射し、原子を2段階励起させて生じる高励起状態に起因する共鳴蛍光や吸収信号から高い波長分解能を得る手法を開発している[1]。

**2. 実験** セメントと酸化ストロンチウム粉末を混合・圧縮して成型したペレットを、真空チャンバー内の回転試料台に乗せ、Nd:YAGレーザーの2倍高調波光(532nm, 10Hz)を垂直に照射してレーザープラズマを発生させた。またCaやSr原子の2段階励起に必要な光を2台の外部共振器半導体レーザーで発生させ、試料表面から数mm上方でプラズマに対向して照射して、CaやSr原子の第2励起状態から生じる共鳴蛍光や吸収信号を光電子増倍管や高速フォトダイオードによって検出した。

**3. 結果と考察** 図1は背景ガス(ヘリウム)の圧力を3通りに変化させて2段階目のレーザー波長をスキャンして得られた<sup>40</sup>Caの蛍光スペクトルを比較した図である。スペクトルの半値幅は圧力に比例して変化するが、信号強度も増減することが分る。このことから、高い波長分解能と十分な信号感度が両立する圧力条件を決めることができた。また、アブレーション直後のプラズマ内では粒子衝突が激しく、速度変化衝突によるガウス型バックグラウンド信号がスペクトルに重畳されるため、アブレーションから観測までの時間差も重要であることが分かった。更に同様の分光特性はCaだけでなくSrでも得られ、また蛍光信号だけでなく吸収信号からも同様の結果が得られることが明らかになった。

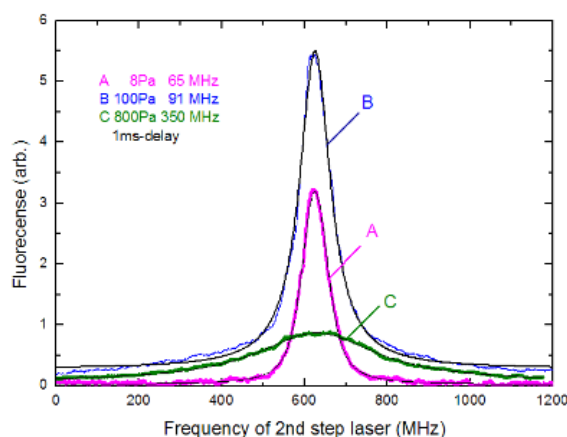


図1 Caの蛍光スペクトルの圧力変化

**謝辞** 本研究の一部は JSPS 科研費・基盤研究 B (課題番号 22H02011) の助成によって得られた成果です。

[1] M. Miyabe, M. Kato, S. Hasegawa, *J. Anal. At. Spectrom.* 2023, 38, 347-358, DOI: 10.1039/d2ja00304j

\*Masabumi Miyabe<sup>1</sup>, Yoshihiro Iwata<sup>1</sup>, Shuichi Hasegawa<sup>2</sup> (<sup>1</sup>JAEA, <sup>2</sup>The University of Tokyo)