

(LNS Experiment : #2587)

J-PARC 実験用ゲルマニウム検出器の波形読み出し法の開発

細見健二¹, 鵜養美冬², 大谷友和¹, 小池武志¹, 馬越¹, 三森雅弘¹, 三輪浩司¹,
白鳥昂太郎¹, 田村裕和¹

¹ 東北大学大学院理学研究科 (980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉)

² 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉)

Development of Waveform Readout System for Germanium Detectors at J-PARC

K. Hosomi¹, M. Ukai², T. Otani¹, T. Koike¹, Y. Ma¹, M. Mimori¹, K. Miwa¹,
K. Shirotori¹, and H. Tamura¹

¹Department of Physics, Tohoku University, Sendai, 980-8578

²Cyclotron and Radioisotope Center, Tohoku University, Sendai, 980-8578

The waveform of signals from a germanium detector was measured by a Flash ADC under the high counting condition by a positron beam at LNS. Even if a baseline is shifted after preamp reset, the original energy was obtained by analyzing the waveform. The effectiveness of the waveform readout for J-PARC experiments was shown.

§ 1. はじめに

現在、我々のグループは J-PARC においてハイパー核ガンマ線分光実験 [1] を行うため、新型のゲルマニウム検出器アレイ「Hyperball-J」を建設中である。J-PARC で実験を行う際、旧 Hyperball 用の読み出し方法を用いた場合には、ビーム強度の増加にともなう不感時間の増加から 2 MHz 以上のビーム強度ではデータ収集が行えないと予想される。第 1 表に J-PARC で予想される実験条件を示した。旧 Hyperball 用の読み出し方法はプリアンプ、整形アンプ、パルス波高型 ADC という流れでゲルマニウム検出器に入ったエネルギー情報を波高情報に変換して読み出す方式になっており、不感時間を生じる要因は以下の 2 つである。1 つ目はプリアンプのリセットである。運動量が GeV オーダーの中間子ビームを使って実験を行うため、散乱ビームなどによる高いエネルギー付与率に耐えられるよう、低増幅率のトランジスター・リセット型のプリアンプを使っている。しかし、プリアンプのリセット時には、その後の数 10 μ 秒間は整形アンプのベースラインが変動してしまい正しい波高を得ることができず不感時間を生じる。もう 1 つは波形同士のパイルアップである。この場合もリセット直後と同様に正しい波高情報を得ることができず不感時間となる。

この問題を解決するため、Hyperball-J ではフラッシュ ADC を用いた波形読み出し法に変更する予定である。これは、整形アンプ出力を波形情報のまま記録し、オフライン解析によりリセット直後のベースライン補正とパイルアップの分離を行おうというものである。本来ならプリアンプ出力を直接フラッシュ ADC

で読み出すべきなのだが、フラッシュADCの性能によりエネルギー分解能が制限*されてしまうため、現段階では整形アンプ出力を読み出すこととする。

第1表 ハイパー核ガンマ線分光実験の条件。

	K6 (KEK) 実測値	K1.8 (J-PARC) 予想値
ビーム強度	2 MHz (π^+)	~ 10 MHz (K^-)
カウントレート	50 kHz	~ 250 kHz
エネルギー付与率	~ 0.5 TeV/s	~ 2.5 TeV/s
不感時間	~ 50 %	100 %

§2. 実験

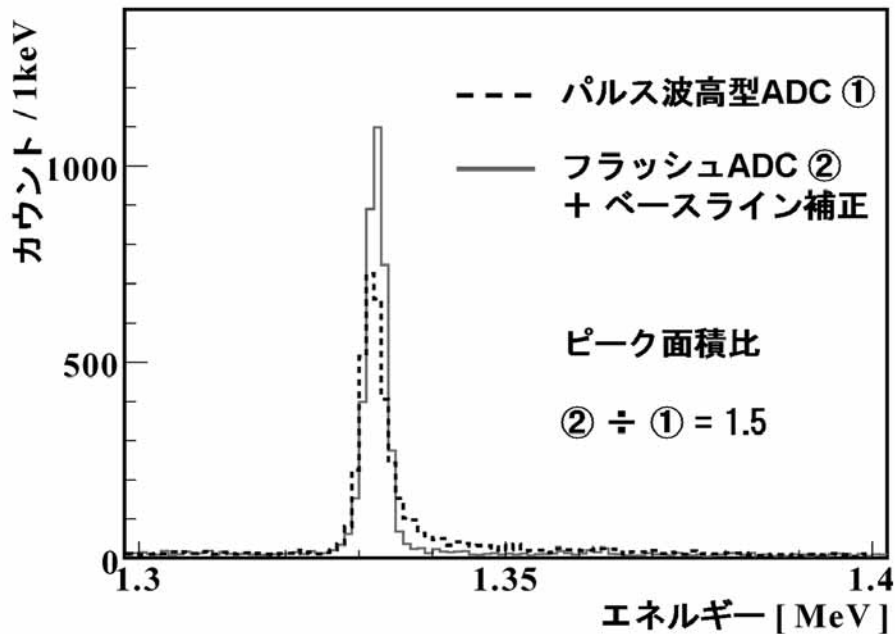
本実験は、プリアンプのリセット直後に検出したガンマ線イベントに対して、波形解析のアルゴリズム開発とその補正効果の検証を目的として行われた。実験は、10 kHzの陽電子ビームを直接ゲルマニウム検出器に照射し、エネルギー付与率を0.4 TeV/s (リセット率2~3 kHz)としてハイパー核実験の状況を再現したうえで、 ^{60}Co 線源からのガンマ線を測定した。測定に用いた ^{60}Co 線源はプラスチックシンチレータ(+光電子増倍管)の中に埋め込まれており、ゲルマニウム検出器と組み合わせてベータ・ガンマ・コインシデンスをとることで効率よくリセット直後のガンマ線イベントにトリガーをかけてデータ収集することに成功した。また比較のため、整形アンプ出力を2つに分けフラッシュADCとパルス波高型ADCで同時に同じイベントを記録した。

§3. 解析と考察

リセット直後の整形アンプ出力のベースライン変動の大きさはイベントごとに異なっていることがフラッシュADCの波形データから分かった。このため、イベントごとにベースライン部分を抜き出し、2次関数でフィッティングして正しいベースライン位置を見積もった上で波高を読み取る解析方法を考えた。ベースライン部分のみを抜き出すアルゴリズムは、波形データを微分してその微係数がゼロに近くなる場所を選択する方式をとっている。第1図に解析で得られた ^{60}Co のガンマ線スペクトルを示す。波線で表示されているのはパルス波高型ADCで測定した場合で、リセット直後のベースライン変動によって正しい波高が読めずピークが広がってしまっているのが確認できる。実線で表示されているのは同じイベントをフラッシュADCで測定し、ベースラインの補正を行った場合である。2つを見比べると、補正によってベースライン変動の影響を改善できていることが分かる。現在の解析では、リセット率が2 MHzの条件下でゲルマニウム検出器の信号を3.1 keV(半値幅 @ 1 MeV)のエネルギー分解能で読み出すことができている。パルス波高型ADCではエネルギー分解能は3.7 KeVであり、補正によってエネルギー分解能は改善している。また、相対検出効率をピークの面積比で見積もると、パルス波高型ADCを使った場合に比べてフラッシュADCを使った読み出しの方がリセット直後のイベントに対して約1.5倍に増えていることが分かった。以上の結果より、旧Hyperball用の読み出し方法では正しく読み出せなかったプリアンプ・リセット直後の

*プリアンプ出力を直接読み出すのに必要なフラッシュADCの性能を見積もるとダイナミックレンジが10 V、有効ビット数が19ビット、サンプリング周期が100 MHzとなる。

イベントに対してフラッシュADCを用いた読み出し方法ではオフライン解析で補正することで正しく読み出せることが分かり、波形読み出しの有効性を示すことができたといえる。



第1図 プリアンプ・リセット直後のベースラインが変動しているイベントに対してパルス波高型ADCとフラッシュADC + 波形解析で読み出した ^{60}Co 1.33MeVピークのエネルギースペクトルの比較。

§4. まとめと今後の課題

ゲルマニウム検出器のプリアンプ・リセット直後のベースラインが変動している間に計測されたガンマ線イベントに対してフラッシュADCを使った波形読み出しを行い、得られたデータを元に補正用のアルゴリズムを開発した。オフラインでベースラインのフィッティング解析を行った結果、ベースラインが変動していても補正することで3.1 keV(半値幅 @ 1 MeV) エネルギー情報を読み出すことに成功した。今後の課題は、開発したベースライン補正アルゴリズムの再検討とパイロットに対する解析アルゴリズムの開発である。

参 考 文 献

- [1] H. Tamura *et al.*: J-PARC proposal E13, "Gamma-ray spectroscopy of light hypernuclei" (2006).