

核データ部会セッション

先端データサイエンスの核データへの適用

Application of advanced data science to nuclear data

(1) 機械学習技術を用いた Si 検出器の波形解析による粒子識別

(1) Particle identification by waveform analysis of Si detector using machine learning technology

*川畑 貴裕¹, 坂梨 公亮¹, 藤川 祐輝², 足立 智¹, 古野 達也¹, 辻 聖也¹, 氷見 香奈子¹, 稲葉 健斗², 岡本 慎太郎², 村田 求基¹, 伊藤 正俊³, 松田 洋平³, 山本 広平³, 小野寺 史龍³

¹大阪大学, ²京都大学, ³東北大学

1. Introduction

原子核散乱実験では陽子や重陽子、⁴He など様々な粒子が放出されるため、これらの粒子種別を弁別すると同時に、大立体角をカバーして高効率で放出粒子を測定できる検出器が必要である。エネルギー分解能の良好な Si 半導体検出器は大規模高エネルギー素粒子実験から小規模の低エネルギー原子核実験に至るまで広く荷電粒子の測定に用いられており、近年では 6 インチのウェハーから製造した大面積検出器が商業的に流通している。我々のグループでは、読み出し電極の分割により位置測定を可能にした Si ストリップ検出器を用いて、原子核反応から放出される数 MeV 以下の低エネルギー荷電粒子の測定に取り組んでいる。

Si 検出器に荷電粒子が入射すると、同じエネルギーの粒子であっても種類によって停止する深さ、励起される電子・空孔対の密度が異なるため、検出器からの出力信号の波形が変化すると期待される。そこで、我々は波形解析による粒子識別技術の開発を試みている。検出器で測定されたエネルギーと電流信号の最大値の相関から粒子識別する手法は従来からも用いられており、数十 MeV 以上のエネルギーを持つ重イオンに対し一定の成功を収めているが、3 MeV 以下の低エネルギー粒子の識別に成功した事例は報告されていない。これは、粒子エネルギーの低下とともに粒子識別力が低下するため、複雑に変化する波形を電流信号の最大値という一つの観測量に集約する従来手法の限界である可能性がある。そこで、我々は、近年発展の著しい機械学習技術を導入し、信号波形の持つ入射粒子についての情報を劣化させることなく多次元解析することによって、従来手法の限界を超えた新しい低エネルギー荷電粒子技術の確立を目指している。

2. 性能評価試験・データ解析

波形解析による粒子識別には、結晶の一様性に優れる中性子ドーピング (NTD) 法を用いて製造された NTD-Si 検出器が適しているとされている。我々は Micron Semiconductor 社製の有感面積 80 cm²、厚さ 500 μm の扇型大面積 NTD-Si 検出器を購入し、その性能評価を実施した。この検出器は表面の読み出し電極が同心円状に 16 分割、裏面の読み出し電極が放射状に 8 分割されており、24 チャンネルの信号を読み出すことで 16 × 8 = 128 ピクセルの解像度で粒子の入射位置を決定することができる。

性能評価試験は神戸大学タンデム静電加速器施設と東北大学 CYRIC において実施した。加速器からのビームを用いて生成した陽子・重陽子・⁴He を NTD-Si 検出器に入射し、電荷積分型前置増幅器を経由して得られた出力信号の波形を Flash ADC モジュールを用いて 500 MHz のサンプリング率で取得した。そして、取得データを従来型手法と機械学習を用いた手法を用いて解析し、その粒子識別能を比較した。その結果、2.5 MeV までの陽子と ⁴He をほぼ 100%の精度で、1.5 MeV までの陽子と ⁴He を約 95%の精度で弁別することに成功した。従来型手法ではチャンネルごとに解析パラメータを調整しなければならないのに対し、機械学習では全てのチャンネルを一括して解析できるため、解析に必要な労力を大幅に削減することができた。また、劇的とは言えないものの、従来型手法に比べ機械学習は概ね良好な粒子識別能を示すことが明らかになった。

データ解析は現在も継続中であり、本講演では、我々の最新の成果について報告する。

*Takahiro Kawabata¹, Kohsuke Sakanashi, Yuki Fujikawa², Satoshi Adachi¹, Tatsuya Furuno¹, Seiya Tsuji¹, Kanako Himi¹, Kento Inaba², Shintaro Okamoto², Motoki Murata¹, Masatoshi Itoh³, Yohei Matsuda³, Kouhei Yamamoto³ and Siryu Onodera³

¹Osaka Univ., ²Kyoto Univ., ³Tohoku Univ.