

## 変革を駆動する先端物理・数学プログラム (FoPM)

## 国外連携機関長期研修 報告書

氏 名	國分 英
所属部局	理学系研究科 物理学専攻
受入先	GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung
日程	西暦 2022年4月2日 ~ 西暦 2022年6月20日

ドイツ・重イオン研究所で中性子過剰核内中の短距離相互作用を測定する二つの実験に参加した。一つ目は核子当たり 1.25 GeV の  $^{16}\text{C}$  ビームと液体水素標的を用いた陽子ノックアウトの実験で、二つ目は核子当たり 600 MeV の  $^{21}\text{N}$  ビームと液体水素標的を用いた陽子ノックアウトの実験である。

実験のセットアップの概略図を図.1 に示す。図.1 は 1.25 GeV の  $^{16}\text{C}$  ビームを用いた実験のセットアップ図であるが、600 MeV の  $^{21}\text{N}$  ビームを用いた実験でも全く同じセットアップを用いた。CALIFA で反跳陽子を、Fiber と TOFD でビーム破砕片のエネルギーや運動量を測定する。CALIFA は標的を囲うように設置された CsI 検出器アレイで、反応によって生じた陽子のエネルギーと放出角度を測定できる。ビーム破砕片は超伝導双極子磁石 GLAD によって印加された磁場によって曲げられる。MWPC と Fiber から得られるビーム破砕片の位置情報から得られたビーム破砕片の磁気硬度  $B\rho$  を求めることができる。また、ToFD でビーム破砕片のエネルギー損失を測定する。求めた  $B\rho$  およびエネルギー損失とビーム破砕片の飛行時間から、ビーム破砕片の質量数・原子番号とエネルギー（・運動量）を同定することができる。得られた粒子のエネルギー・運動量から原子核内中での短距離相互作用を計算する。

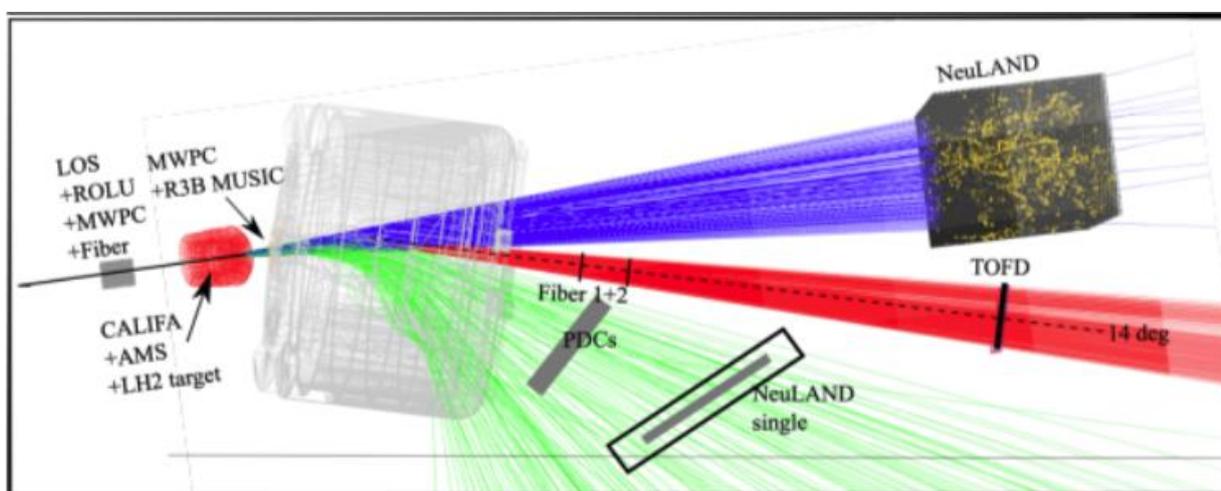


図.1 標的位置と検出器および粒子の軌跡の図。図の左側の赤い塊で示した CALIFA の中心に液体水素標的を設置する。液体に左から入射する黒線が 1.25 GeV/u の  $^{16}\text{C}$  ビーム、標的右側の青線が中性子、赤線がビーム破砕片、緑線が陽子を表している。反応後の荷電粒子は図中央左側に位置する灰色で表した超伝導磁石 R3B によって分離されている。（実験計画書より引用）

実験では主に、シリコン検出器群 FOOT の調整、セッティング、データ取得、解析に従事した。FOOT は標的と CALIFA の間に設置された 10 枚のシングルストリップドシリコン検出器である。シリコンの大きさは 10 cm×10 cm で 1890 本のストリップが入っている。ストリップは 3 つごとに束ねて信号の読み出しを行っており、実効的に 1 枚当たり 640 のストリップが入っていることになる。各シリコン検出器からの信号から反跳陽子とビーム破砕片の位置とエネルギー損失を測定する。得られた位置の情報から

水素標的内での反応位置を、エネルギー損失と粒子の飛行時間から反跳陽子の運動エネルギーを決定できる。

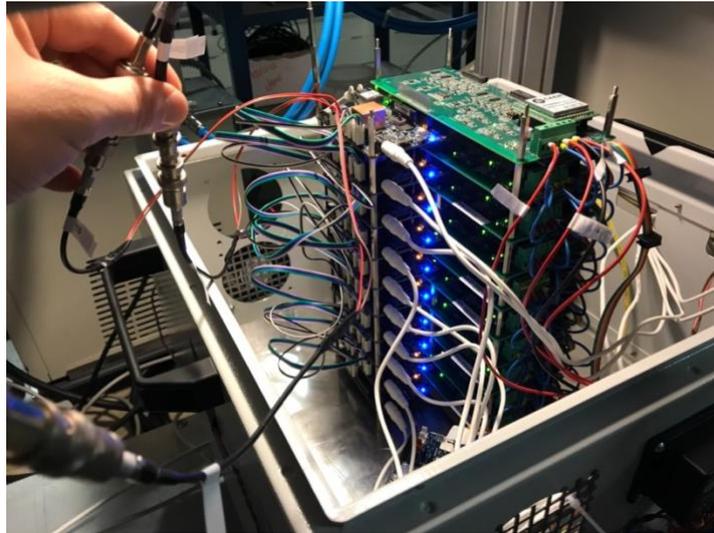


図.2 シリコン検出器の ADC ボードタワー。

私が研修を開始した 4 月の段階では FOOT の 10 個あるシリコン検出器のうち 6 個は ADC と FPGA(以下 ADC ボードと呼ぶ)に接続されていない状態だった。そこで、私は GSI の研究員とともに 6 個の検出器の動作確認を行なった。初めにシリコン検出器につける ADC および FPGA の動作確認を行った。この動作確認では、シリコン検出器には繋がらない状態で ADC ボードに電圧をかけ信号を確認し、異常な振る舞いをしたり応答のないチャンネルがないことを確認した(図.3 左 10 枚)。次に確認した ADC ボードと FPGA をシリコン検出器に接続するために、既に接続されていた ADC ボードを一度外し、10 個の ADC ボードのタワーを作成した(図.2)。作成した ADC ボードのタワーは CAVE 内に設置した。最後に ADC ボードをシリコン検出器に接続した後、動作確認とデータの取得を行った(図.3 右 10 枚)。シリコン検出器は粒子が入射していない時も微弱な信号を出す(オフセット)。実験ではこのオフセットよりも大きい信号が来た時のみ粒子が通過したものとみなす。ここで行ったデータの取得はシリコン検出器のオフセットを求めるために行った。また、シリコン検出器中のストリップの中には、高い頻度でオフセットをはるかに超える大きさの信号が来るものがあった。そこで、それらのストリップはノイジーチャンネルとしてデータ取得時には取り除くことにした。

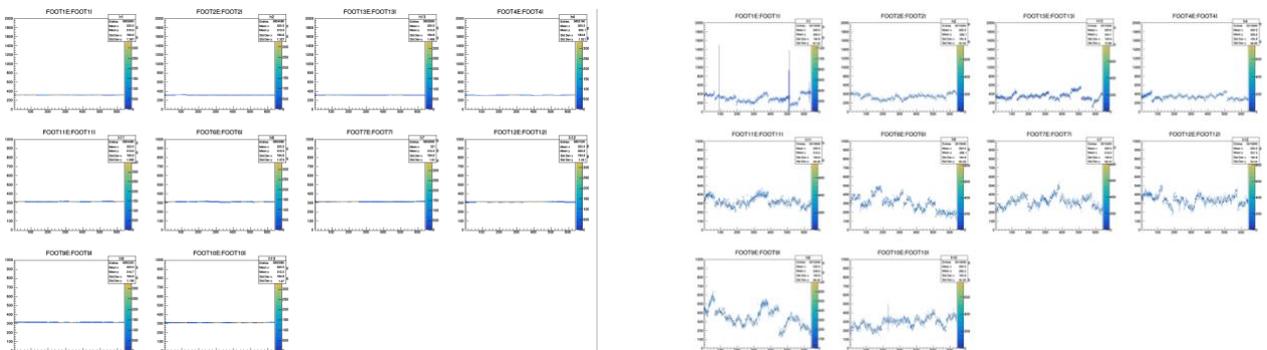


図.3 (左 10 枚) 10 個の ADC ボードがシリコン検出器に接続されていない時の信号。いずれの ADC ボードにも応答しないチャンネルがないことがわかる。(右 10 枚) ADC ボードをシリコン検出器に接続した時の信号。ビーム等は入射されていないため、得られた信号はオフセットである。FOOT1(左上)にノイジーチャンネルがあることがわかる。

ビームタイム中は、FOOT が正常に動作しているかを確認するとともに、定期的にオフセットデータの取得を行なった。FOOT のシリコン検出器はビームタイム中高いレートでビームに晒されているため、実験が進むにつれダメージを受けていく。その結果、オフセットの値が変化したり新たなノイジーチャンネルが出現することがあるため、何らかの理由でビームが止まるタイミングでオフセットデータの取得を行なった。また、ビームタイム中にはデータの取得と並行して、標的中での反応位置の特定と陽子のエネルギーの決定を試みた。標的中での反応位置は、FOOT の信号から生成した陽子の軌道を決定し、この軌道と入射ビームの軌道から求めた。また、陽子のエネルギーは FOOT でのエネルギー損失から計算を試みている。