素粒子原子核研究所活動報告（２）測定器開発センター　　2023 年 1 月 5 日

2022 年 4 月，素粒子原子核研究所（素核研）のもと測定器開発センター（Instrumentation Technology Development Center; ITDC）が発足した。2021 年度まで機構に設置されていた測定器開発室を組織再編したもので，測定器開発プラットフォームと PF-AR 測定器開発テストビームラインの運用に加え，コミュニティと共に次世代プロジェクトを支える基幹技術開発を推進し，測定器開発の国際拠点となることを目指している（図 1）。ITDC は素核研の教員 4 名を兼任教員として活動を開始し，今年度はこれまでの活動の継続であるプラットフォームとテストビームラインの運用に加えて，組織作りを進めてきた。

図 1: 測定器開発センター概要。

測定器開発プラットフォームは現在，センサー技術に関する 3 つのプラットフォームからなっており，研究会を開催したり，富士実験棟や PF-AR 南実験棟に整備してきた実験スペースをユーザーに提供し，いわばボトムアップの研究開発をサポートしている。プラットフォームはユーザーの希望や活動状況に応じて機動的に再編することを想定していて，たとえば，EF，Belle，E-sys 各グループが共同で活動を行っているコライダーエレクトロニクスフォーラムとの協力は近い将来起こり得る活動再編の一つである。

測定器開発プラットフォームがボトムアップ型である一方，極低温冷凍技術を含む超伝導磁石関連の技術開発と，高放射線や低温あるいは強磁場などの過酷な環境で動作するセンサーおよび信号読み出しのためのエレクトロニクス開発を ITDC が主導する研究テーマの候補と

している。現在は，これらの研究開発に向けた体制作りとして，素核研内のグルーピング再編を検討し，また ITDC 専任教員の獲得を目指している。

測定器開発テストビームラインについては，昨年度までは先端加速器推進部からの報告として建設状況を何度かお知らせしてきた。2021 年夏の加速器シャットダウン時までに，必要な装置を全て搬入設置し，2021 年 11 月と 2022 年 3 月の PF-AR 運転時に，標的のビーム照射やビーム取り出し試験などのコミッショニングを実施してきたことも報告した。その後，2022 年度は 6 月にも同様の試験を行い，さらに 11 月から 12 月にかけての 1ヶ月弱の間は，標的を挿入した状態で放射光のユーザー利用運転を行った。これにより，放射光ユーザーとの併用運転の可能性と長期運用での安定性を確認した。標的挿入深度はテストビームラインのユーザー利用時の想定よりは浅いとはいえ，その結果は良好で，この期間中標的起因のビーム不安定性などは一度も起きなかった。

また，11 月から 12 月にかけての上記運転時は，あくまでテストビームラインのコミッショニングの一環であるという位置付けで（＝正式な大学共同利用運転ではないので，何かトラブルがあってビームが出なくなっても復旧のための対応はしないという約束のもと），測定器開発プラットフォームユーザーの 6 チームがビームを利用した測定器試験を実施した（表 1）。試験内容は，飛跡検出器の試験，カロリメータの較正，時間分解能測定，検出効率の測定と

表 1: 2022 年 11 月と 12 月に行われたコミッショニング期間中のビーム利用者。

代表者	実験内容
谷口，中沢	ドリフトチェンバーを使った Belle II CDC 新読み出し回路の性能評価
大谷，池田	光子ペアスペクトロメータ用 LYSO アクティブコンバータの性能測定
石川	EBES 実験のための鉛ガラス検出器の較正
吉原，前田	SuperKEKB ビームロスモニター用 EMT の検出効率の評価
山田	PF-AR テストビームライン用テレスコープの性能評価試験
青木，中須賀	J-PARC E16 実験のための鉛ガラス検出器の較正

多岐に渡り，組み合わせによっては 2 つのチームが同時に試験をする場合もあった。標的を挿入したまま長時間ビームを取り出し続けたことはなかったので，どのような問題が発生するのかと戦々恐々としていたが，上述の通り，この運転期間中蓄積ビームに不安定性が生じなかったため，どのチームも粛々とデータを取り続けることができた。得られた結果の一部，もしくは試験のセットアップの様子などを図 2 から図 6 に示す。データ解析が進んでいるグループもあり，たった数日間のビームテストでも成果創出に値するデータを収集できることがわかり，改めてテストビームの有用性を目の当たりにした。

一方で，ユーザーを迎えて長期運転をするにあたり，様々な課題も浮き彫りになった。まず第一は，取り出しビームのレートの低さである。今回の運転では長期運転における安定性確認が主眼であったので，標的挿入深度が浅く典型的なビームレートは 2GeV で 150 から 200Hz 程度であった。想定しているレートの 1 桁落ちであることから，小さな検出器の試験や，検出器応答の場所依存性を調べるためにビームの小さな領域しか使わないグループにとっては，数 10Hz しか利用できない場合があり，レートを上げることがユーザーからは期待された。また，取り出しビーム軸中心がシミュレーションよりも 10mm 程度ズレていて，さらに，ビームの形もシミュレーションで期待される形とは一致していないことが，飛跡検出器によるビームプロファイルの測定からわかってきた。今後，ビーム取り出しの電磁石群のオ

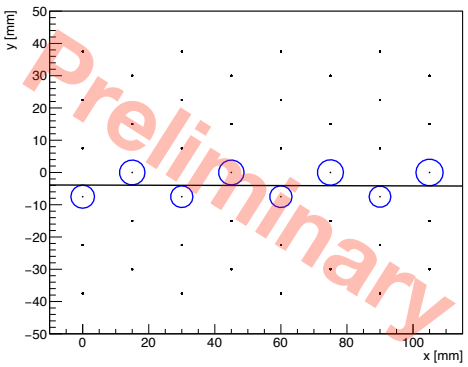

図 2: CDC が検出した電子ビームの飛跡（谷口・中沢グループ）。

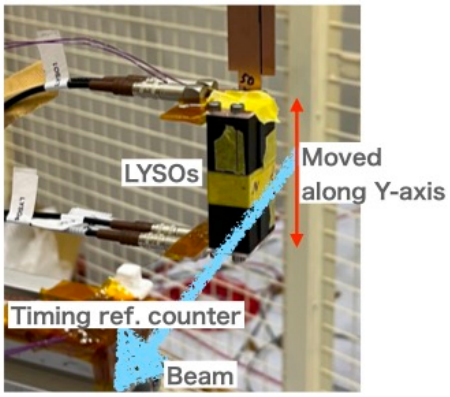

図 3: LYSO 検出器試験のセットアップ（大谷・池田グループ）。

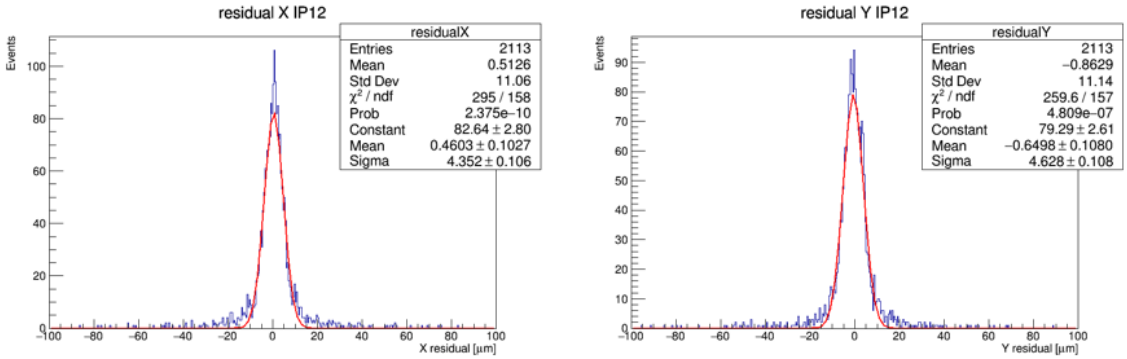

図 4: 山田グループが試験に使用した SOI ピクセル検出器の residual 分布。Residual は複数のピクセル検出期を相互参照することで求めた。

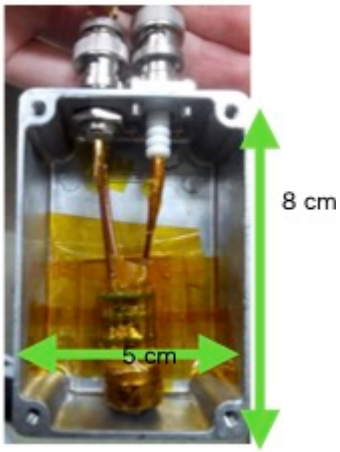

図 5: 吉原・前田グループが試験した Electron Multiplier Tube (EMT)。

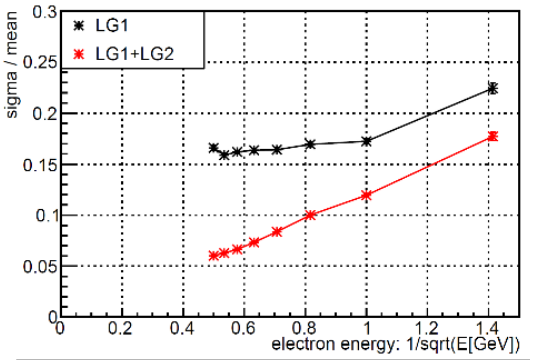

図 6: 鉛ガラスのエネルギー分解能測定（青木・中須賀グループ）。1 本（黒）では電磁シャワーに漏れがあるが，2 本（赤）だと漏れがなく，$1/\sqrt{\text{エネルギー}}$ の依存性がクリアに見える。

プティクスの理解を進める必要がある。

もう一つの大きな課題は，今後の長期運用に向けた体制作りとインフラ整備である。PF-AR を所掌する物構研および加速器第 6 系では，ユーザーが加速器コントロールルームのオペレーターと直接連絡を取ることを禁じていて，ビーム試験中は ITDC のメンバーの誰かがテストビームラインのコーディネータとして KEK に滞在することが義務付けられた。ITDC は兼任教員 4 名だけの組織なので，約 1ヶ月間を ITDC メンバーでフルにカバーするのは困難で，長期運用のためにはなんらかの対策が必須である。

インフラという観点では，PF-AR 南実験棟に 20 平米程度のユーザー控室を整備してきたが，今回ユーザーを受け入れてみると，スペースが全く足りないことが明らかになった。2 チームの交代時期，あるいはパラサイトで複数のチームが実験を行うときなどは多数のユーザーがテストビームラインにやって来るため，20 平米では到底足りない。そこで，測定器開発プラットフォームユーザーの控室も兼ねて，これまで整備を進めてきた富士実験棟にユーザー控室の整備を開始した。また，PF-AR 南実験棟には駐車場や駐輪場がないため，これらの設備も来年度には整備する予定である。

以上，本年度初めに発足した ITDC は，これまで組織および体制作りとテストビームライン運用に向けた整備を中心に行なってきた。今後は，次世代技術開発に向けた活動も活発化させていきたい。