



ALICE



课题三：ALICE 探测器升级 FoCal读出电子学研究进展

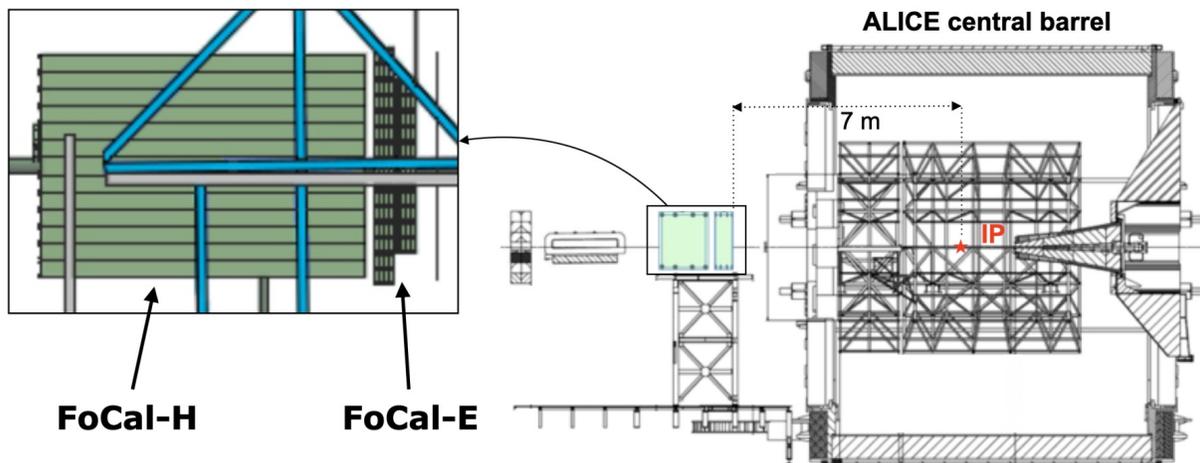
吝守龙 贾世海 李沛玉 卢志永 智宇 王浩祯 郭佳承 李笑梅

中国原子能科学研究院

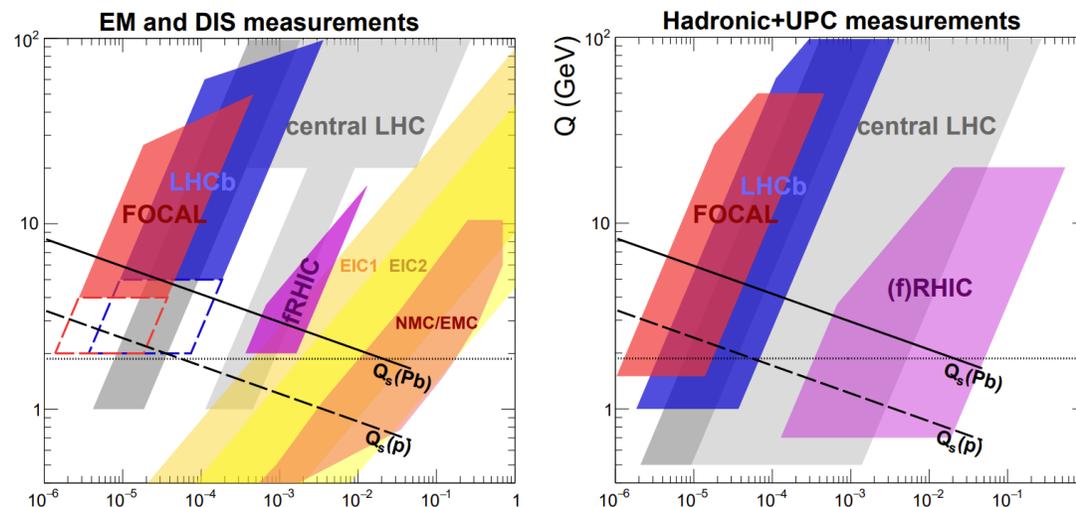
《大型强子对撞机上CMS和ALICE探测器升级》2024年年会 2024.07.13

目录

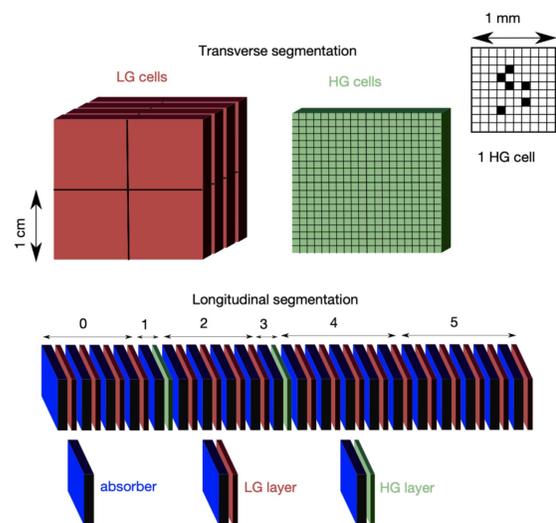
- **FoCal读出电子学研究概况**
- **FoCal读出电子学研究任务与考核指标**
- **FoCal读出电子学研究进展**
- **总结**



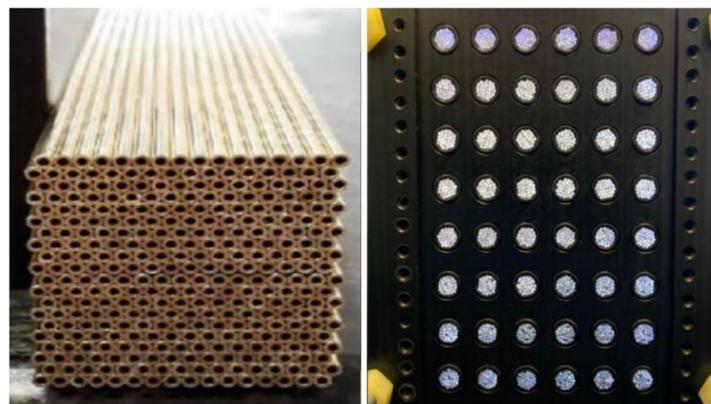
FoCal的设计位置



FoCal提供的测量覆盖



FoCal-E



FoCal-H

- 提供赅快度 $3.4 < \eta < 5.8$ 的测量
- 在小x低至 10^{-6} 测量强子物质动量

Project component	Participating institution(s)
FoCal-E	
Pixel lavers	Bergen, HIP, Jyvaskylä, USN, Wuhan, Yonsei
Pixel readout	Bergen, Kansas, CIAE
Pad layers	Nara, NISER, RIKEN, Tsukuba, Tsukuba Tech, VECC
Pad readout	ORNL, Kansas, Saga, Tsukuba, Tsukuba Tech, Wigner
Cooling	Krakow, Tsukuba Tech
FoCal-H	
SiPMs qualification	BRIN, Houston, NBI, Sofia
Fiber qualification	Houston, NBI, Sofia
Absorber design and production	Houston, NBI, Sofia
Readout	ORNL
Monitoring system	NBI, HIP
Integration and O2	
Mechanical integration	Bergen, Krakow, NBI, Tsukuba Tech
Detector control	Creighton, Houston, NBI, Krakow, VECC
CRU firmware	Bergen, Nagasaki, Sao Paolo, UFRGS, Wigner
O2 software	Chicago, Nagasaki, Nara, Kansas, Oslo, Tokyo, VECC
O2 timing between subsystems, trigger	Nagasaki, NISER, Oslo, Tokyo, VECC
General	
Detector and physics simulation	Berkeley, Bhubaneswar, Bose, Chicago, HVL, Houston, IITB, Indore, Jadavpur, Jyvaskylä, NISER, ORNL, Oslo, UFABC
Test beam at CERN and calibration	Bergen, Kansas, NBI, NISER, ORNL, Tsukuba, VECC

FoCal整体分工安排

Task	Deadline	Responsible
Production Test box		
HW modification	Q2 2024	Shiming Yang (UiB)
FW modification	Q1 2025	Beijing/Wuhan
SW modification	Q1 2025	TBD
Readout Unit		
HW design: 1 st prototype	Q1 2027	Tea Bodova, Shiming Yang, Bilal Qureshi (UiB)
Engineering run	Q2 2025	Shiming Yang, Bilal Qureshi (UiB)
Production run	Q1 2026	Shiming Yang, Bilal Qureshi (UiB)
FW design: Test firmware	Q4 2026	Shiming Yang, Bilal Qureshi (UiB)
Final firmware*	Q2 2025	Beijing/Wuhan
SW design: Test software	Q4 2027	Beijing/Wuhan
Update/modify CRU ITS library*	Q1 2025	TBD
Transition Card		
HW design prototype IB/OB	Q4 2024	Tea Bodova (UiB)
HW design prototype OB	Q4 2024	Tea Bodova (UiB)
Production Run	<Q4 2027	Shiming Yang, Bilal Qureshi (UiB)
Mezzanine Card- Readout Unit		
HW design prototype IB/OB	Q2 2025	Bilal Qureshi (UiB)
HW design prototype OB	Q2 2025	Bilal Qureshi (UiB)
Production Run	<Q4 2027	Bilal Qureshi (UiB)

FoCal-E像素层进度安排

- CIAE参与FoCal-E像素层读出单元的工作，与NBI合作参与FoCal-H的研发工作
- 负责像素层读出单元主FPGA固件开发，FoCal-H的束流测试，SiPM测试评价，监测系统研发
- 对于像素层读出单元，预计在2025Q1完成测试盒的固件修改，2025Q2完成测试固件2027Q4完成最终固件

FoCal读出电子学研究任务与考核指标

2022 年 12 月—2023 年 5 月

- 确认前端读出芯片型号，落实 RU 电子学的系统性能需求，对 RU 的主FPGA进行选型，规划电子学子模块
- **考核指标：完成电子学子模块规划 已完成**
- **具体任务完成情况：HGCROC, ALPIDE；系统性能包括链路数量，速度要求已写入TDR；主FPGA定为KCU085，电子学子模块划分完成**

2023 年 6 月—2023 年 11 月

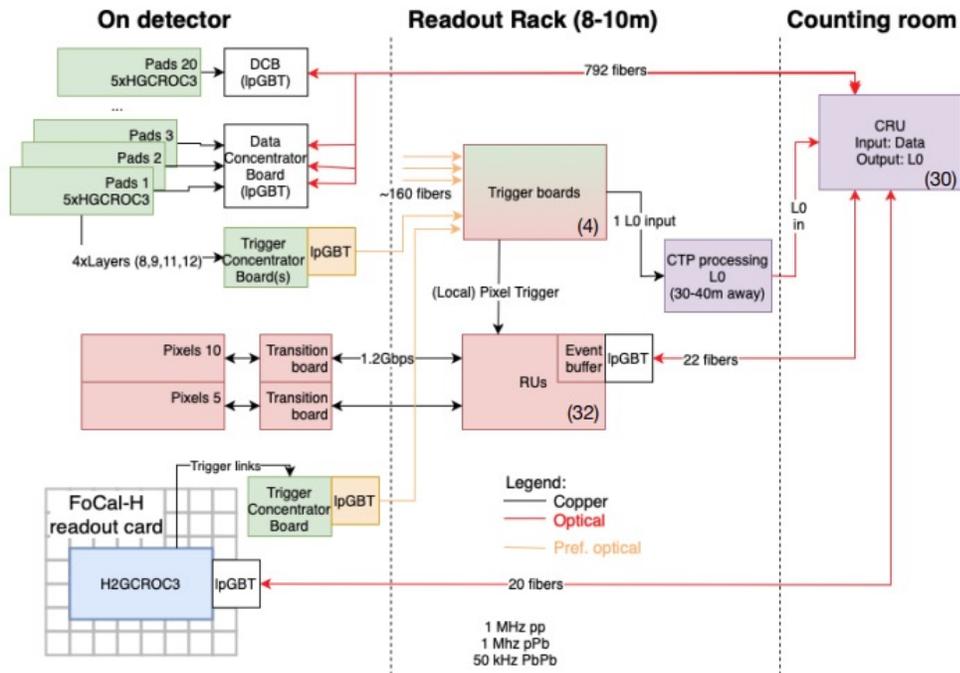
- 设计电子学整体结构，对RU的主要电子元器件进行选型，并设计电子学测试方案
- **考核指标：完成整体结构设计 已完成**
- **具体任务完成情况：电子学整体结构设计完成，写入TDR；RU主要器件，包括主辅FPGA, LDO, DCDC等选型完成；测试方案制定完成**

2023 年 12 月—2024 年 5 月

- 进行RU FPGA固件开发，验证千兆光链路收发单元的功能性能指标，对主要的子模块进行设计及测试
- **考核指标：完成主要电子学子模块设计 已完成**
- **具体任务完成情况：原型测试固件开发完成；提出三种光链路方案；固件子模块设计测试完成**

2024 年 6 月—2024 年 11 月

- 开展RU读出电子学的PCB设计，就高速差分信号线路进行布线设计
- **考核指标：完成读出电子学的 PCB 设计 正在进行**
- **具体任务完成情况：RU读出电子学PCB设计正在进行；Testbox的PCB设计已经完成，HGCROC电子学软硬件设计完成，已经完成测试**



FoCal读出架构

EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH



CERN-LHCC-2024-004
ALICE-TDR-022
February 28, 2024

Technical Design Report of the ALICE Forward Calorimeter (FoCal)

ALICE Collaboration *

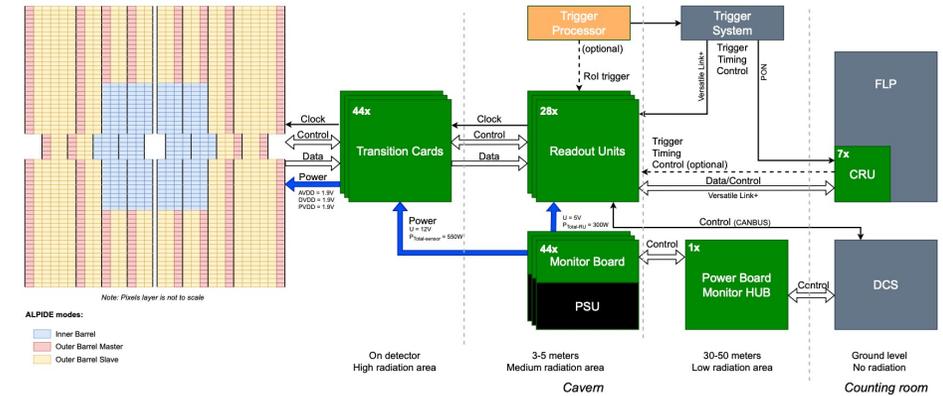
Abstract

This report presents the technical design of the ALICE Forward Calorimeter (FoCal). FoCal is an upgrade of the ALICE experiment at the LHC, to be installed during Long Shutdown 3 for data-taking in the period 2029–2032. FoCal consists of a highly granular Si-W electromagnetic calorimeter combined with a Cu-scintillating-fiber hadronic calorimeter, covering pseudo-rapidity $3.2 < \eta < 5.8$. FoCal has unique capabilities to measure direct photon production at forward rapidity, which probes the gluon distribution in protons and nuclei at small- x , and is theoretically calculable at high precision. FoCal will carry out inclusive and correlation measurements of photons, neutral mesons, and jets in hadronic pp and p-Pb collisions, as well as J/ψ production in ultra-peripheral p-Pb and Pb-Pb collisions. FoCal extends significantly the scope of the ALICE physics program to explore the dynamics of hadronic matter and the nature of QCD evolution at small x , down to $x \sim 10^{-6}$.

© 2024 CERN for the benefit of the ALICE Collaboration.
Reproduction of this article or parts of it is allowed as specified in the CC-BY-4.0 license.

*See Appendix C for the list of collaboration members

FoCal 项目TDR



FoCal-E pixel 读出架构

- 参与确定了读出电子学系统的整体架构设计
- 参与确定了Focal-E pad层, Focal-E pixel层, Focal-H的三部分电子学设计方案
- 参与FoCal TDR 电子学部分的制定

1. ITS2代码检查，模块参数化

- ALPIDE可能是未来广泛使用的硅像素芯片（ALICE3 ITS3），参数化配置能缩短后续其他项目读出单元的开发时间

2. 与ITS2的开发者讨论FoCal-E pixel RU的固件模块规划

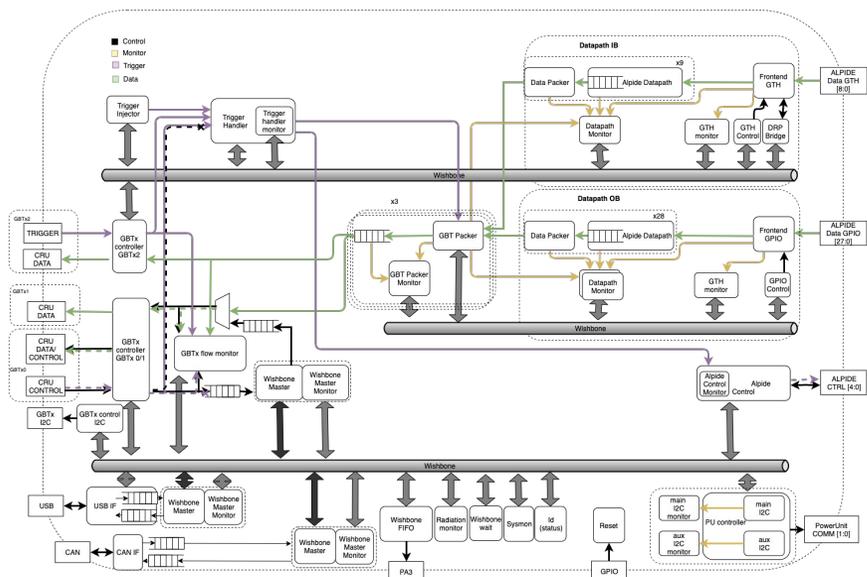
- 对ITS2的主要模块进行评估，对FoCal-E pixel RU的固件开发工作进行规划
- ITS2的固件开发不完善，存在未经测试的模块；ITS2的部分设计没有TMR，需要添加；存在FoCal pixel RU不需要的复杂模块 需要去除；需要调整数据通路的宽度和数量以适应FoCal-E pixel

3. TMRG工具研究

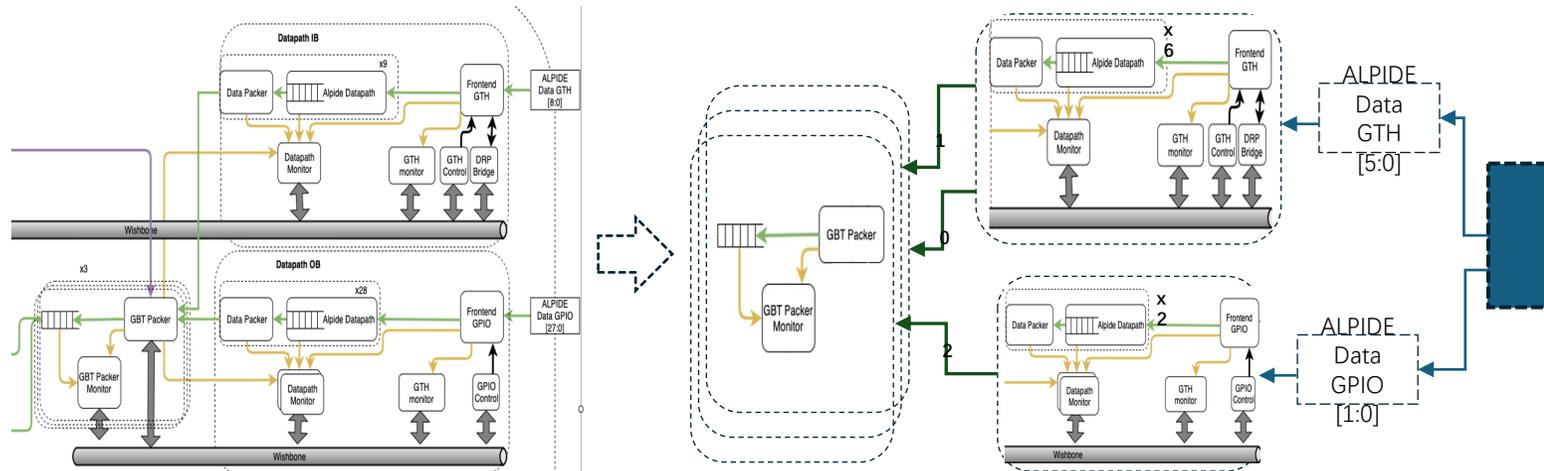
- FoCal-E pixel RU位于中度辐射区域，器件易受单粒子效应影响，研究使用TMRG工具提高抗辐照加固的效率
- 研究CERN的TMRG工具，该工具仅支持Verilog语言，需要将一些模块的代码使用Verilog重写

4. 主FPGA芯片选型

- 考虑到接收器的数量，逻辑资源
- 讨论后选用Xilinx KCU085芯片作为主FPGA芯片



ITS2 固件架构



FoCal 单条测试固件原型

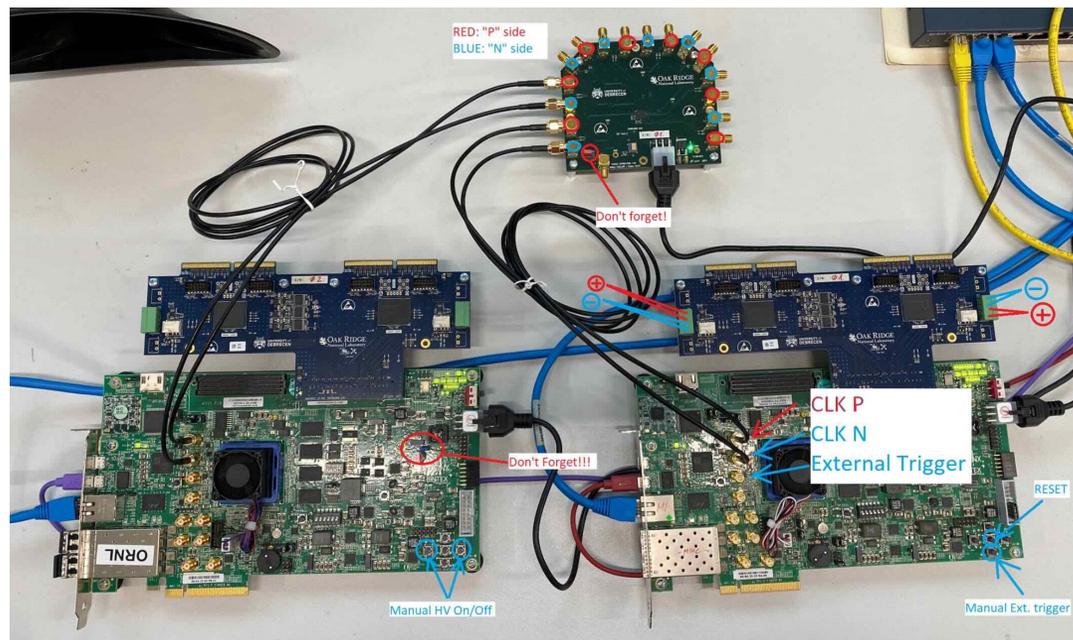
FoCal像素层读出单元核心FPGA的固件在设计上参考ITS2的架构

主要任务是读取来自ALPIDE的数据，控制ALPIDE，接收CTP触发信号，数据打包发送至CRU，控制功率单元

FoCal-E pixel RU与ITS2固件的差异主要体现在ALPIDE的数量和配置模式上，在配置模式上存在IBOB同时读取的情况

FoCal-E pixel RU的开发计划和进度

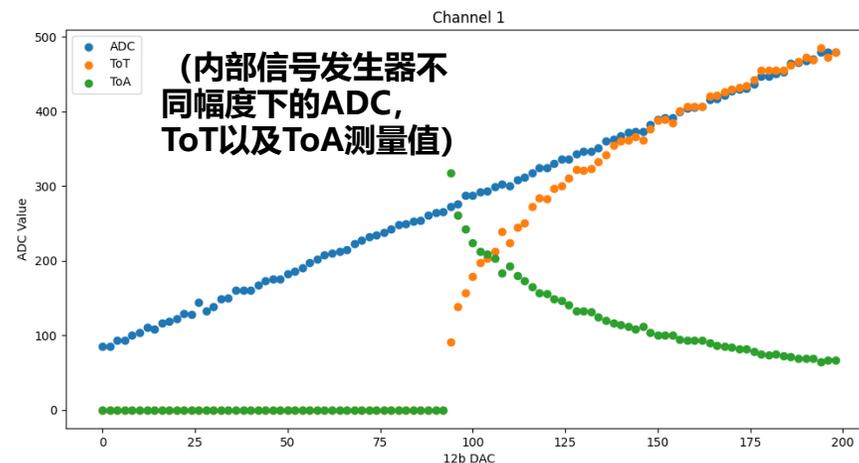
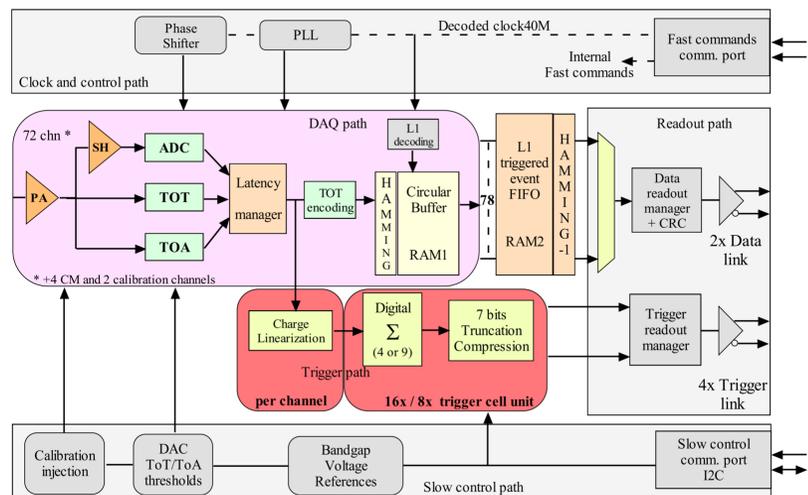
- 1.理解ITS2的工程结构（RTL代码，测试框架，UVM...）
- 2.开发单条的固件程序，用来同时读取FoCal pixel层内层和外层ALPIDE数据
- 3.根据FoCal-E pixel的读出需求，基于ITS2固件对接口，子模块进行修改，测试在ITS2中未经测试的模块，对测试框架，代码进行修改迭代，完成初版设计

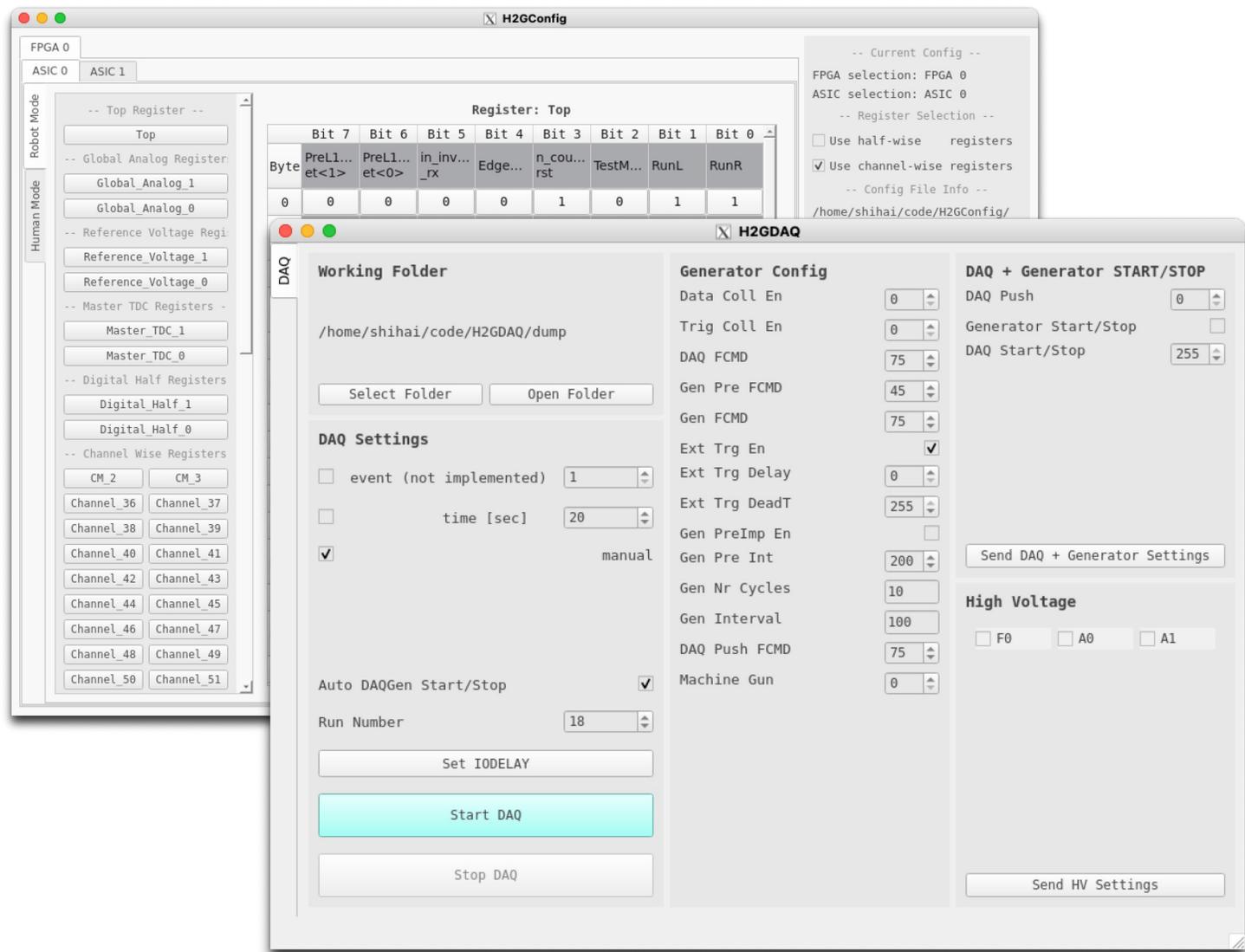


KCU-H2GCROC3A 读出系统:

- 最新的 H2GCROC3B 版本存在设计缺陷, 3C 正在流片
- 使用 KCU105 FPGA 板通过 FMC 接口与 H2GCROC 载板进行连接。每个载板上有两个 H2GCROC 芯片共计 144 通道
- 载板使用与 CAEN 读出相同的 HEC 接口以兼容 CAEN DT5202 面板
- 多个 KCU105 使用同一个外部时钟板实现时钟同步

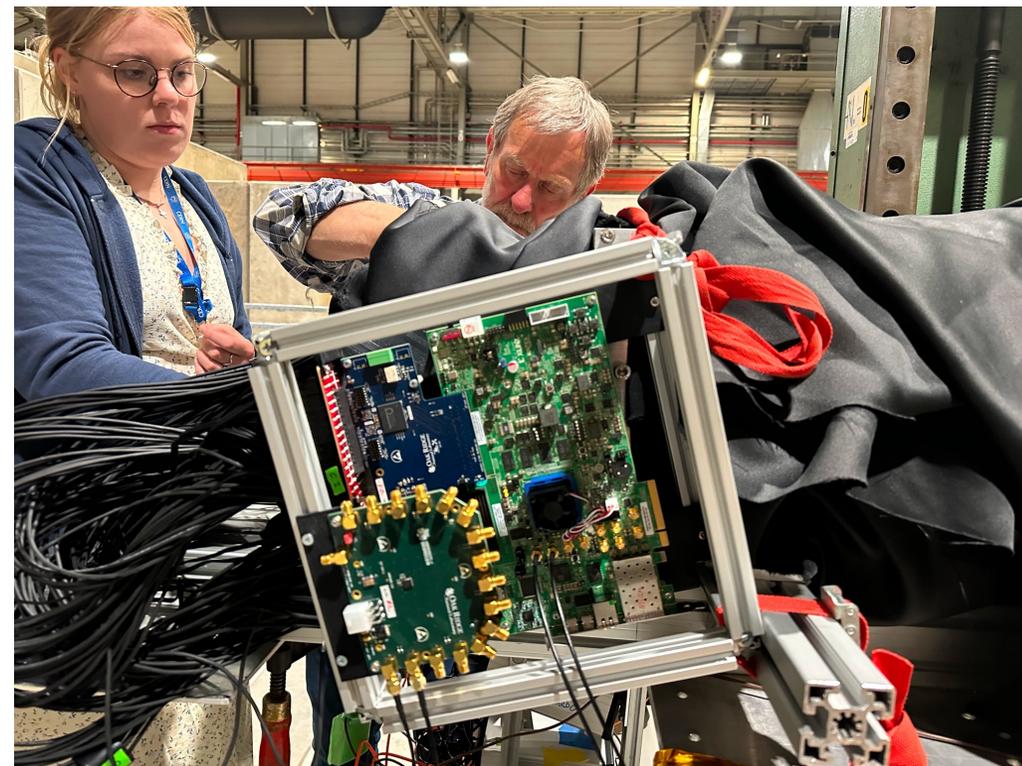
系统在 CERN 进行了内部信号发生器测试以及宇宙线测试, 能够完成前端信号处理以及数据传输。





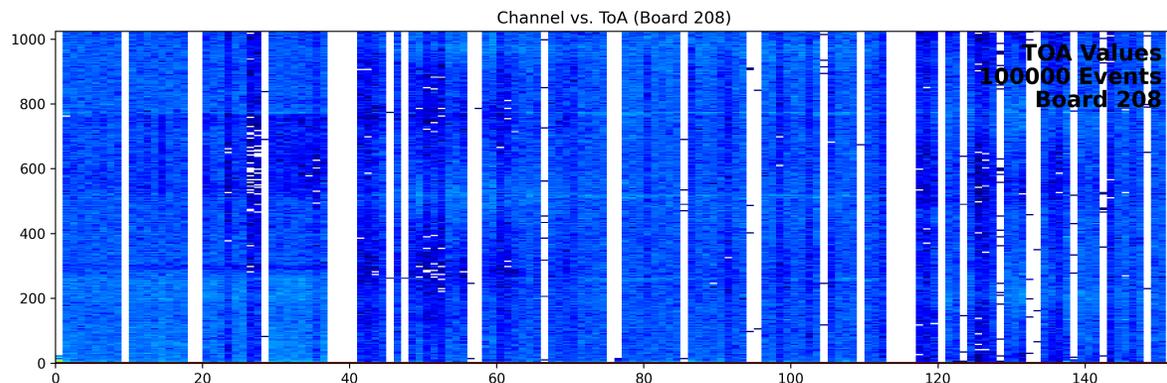
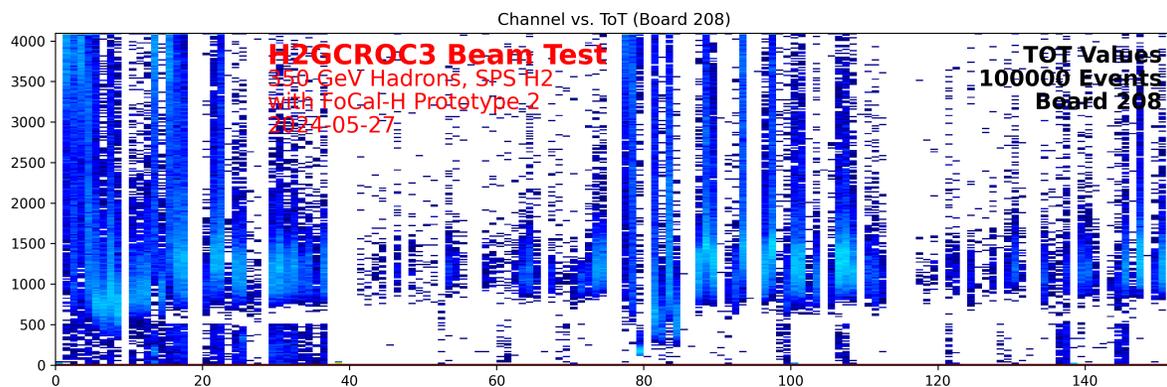
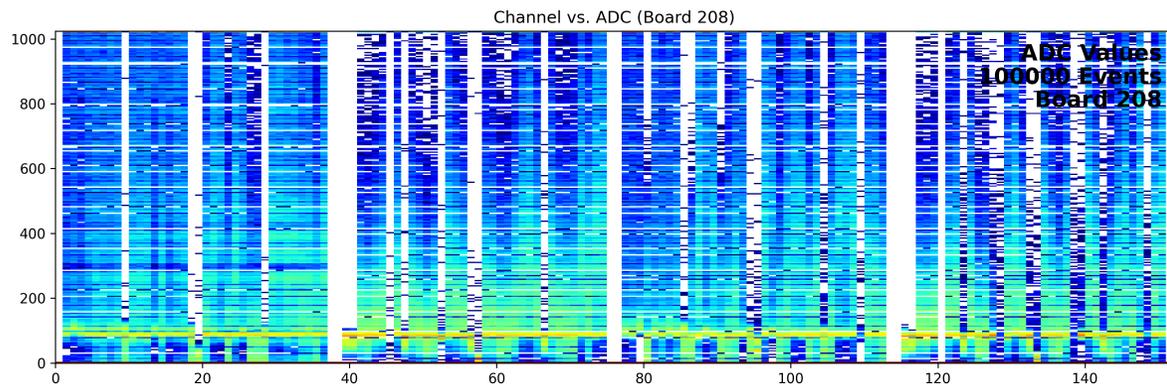
设计了配套 KCU-H2GCROC 系统的读出软件以及配置软件，取代了命令行控制脚本

- 使用 PySide6 框架，采用 Python3
- 最大支持 8 个 KCU，64 个 H2GCROC，共计 4608 通道的读出系统
- 可以访问所有的 H2GCROC ASIC 寄存器
- 所有配置保存为 JSON 文件，兼容已有命令行工具输出格式
- 自动配置 FPGA IO 延迟
- 支持 Ubuntu 以及 MacOS 系统



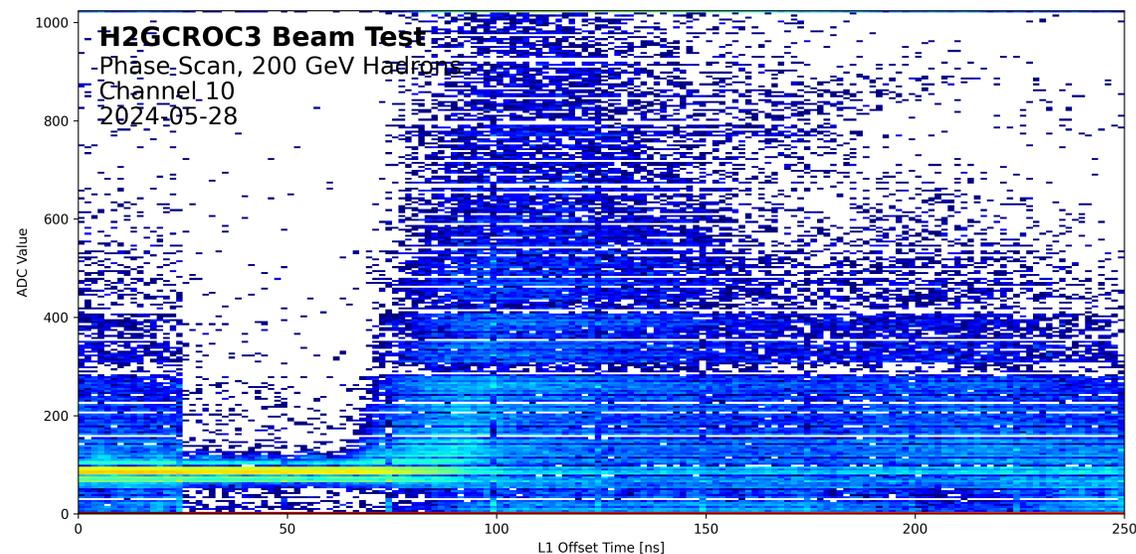
2024年5月末 FoCal-H 小组在 CERN SPS H2 束流线完成了 H2GCROC 与 FoCal-H 的束流测试

- 使用两个 KCU-H2GCROC 系统进行测试
- 完整的原型量能器读出，使用外部闪烁体触发信号
- H2GCROC ASIC 首次与量能器进行束流测试
- 完成了强子与电子能量扫描，位置扫描以及时钟相位扫描



束流测试初步结果:

- 150 GeV 强子束流下的 ADC, ToT 和 ToA 测量分布。可以看到明显的 ADC 与 ToT 值相关, 并且在中心位置的通道有更高的信号幅值
- 200 GeV 下通过不同 L1 offset 以及时钟相位设置的扫描来采集完整的波形



总结

- ALICE-FoCal电子学升级工作中，中国组参与了读出电子学的整体架构与电子学模块设计，参与了FoCal TDR电子学部分的制定
- 主要负责**FoCal-E的像素层读出单元硬件与固件开发**
FoCal-H的硬件开发、测试与软件开发
- 目前项目各项任务研发工作进展都在如期进行