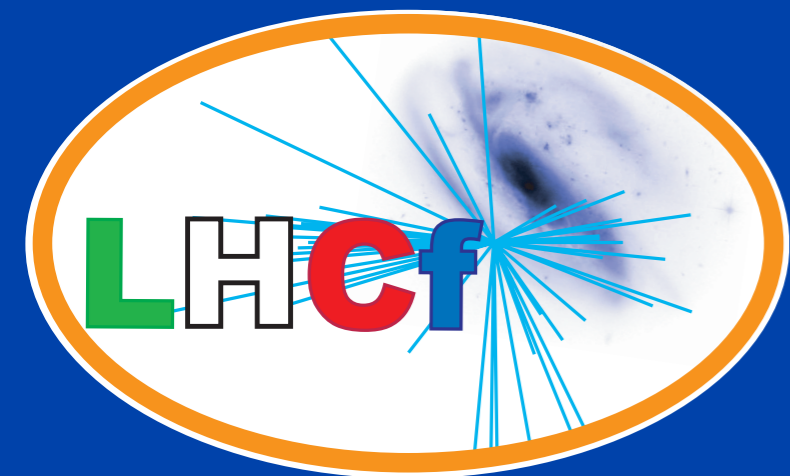


東京大学宇宙線研究所 共同利用研究

Knee領域および最高エネルギー領域での 宇宙線反応の実験的研究



毛受弘彰 (名大ISEE)



本研究課題の内容

■ 研究目的

加速器実験(LHCf, RHICf)を用いた宇宙線相互作用の理解を通して、ミューオン超過問題など空気シャワー観測結果とシミュレーション結果との不一致問題の解決を目指す。

■ 共同研究者 9名 (代表:毛受)

■ 共同利用研究費 14.3万円(旅費)

毎年開催している勉強会の参加者旅費補助に使用予定。

→宇宙線研会議室とオンラインのハイブリット形式での開催を予定

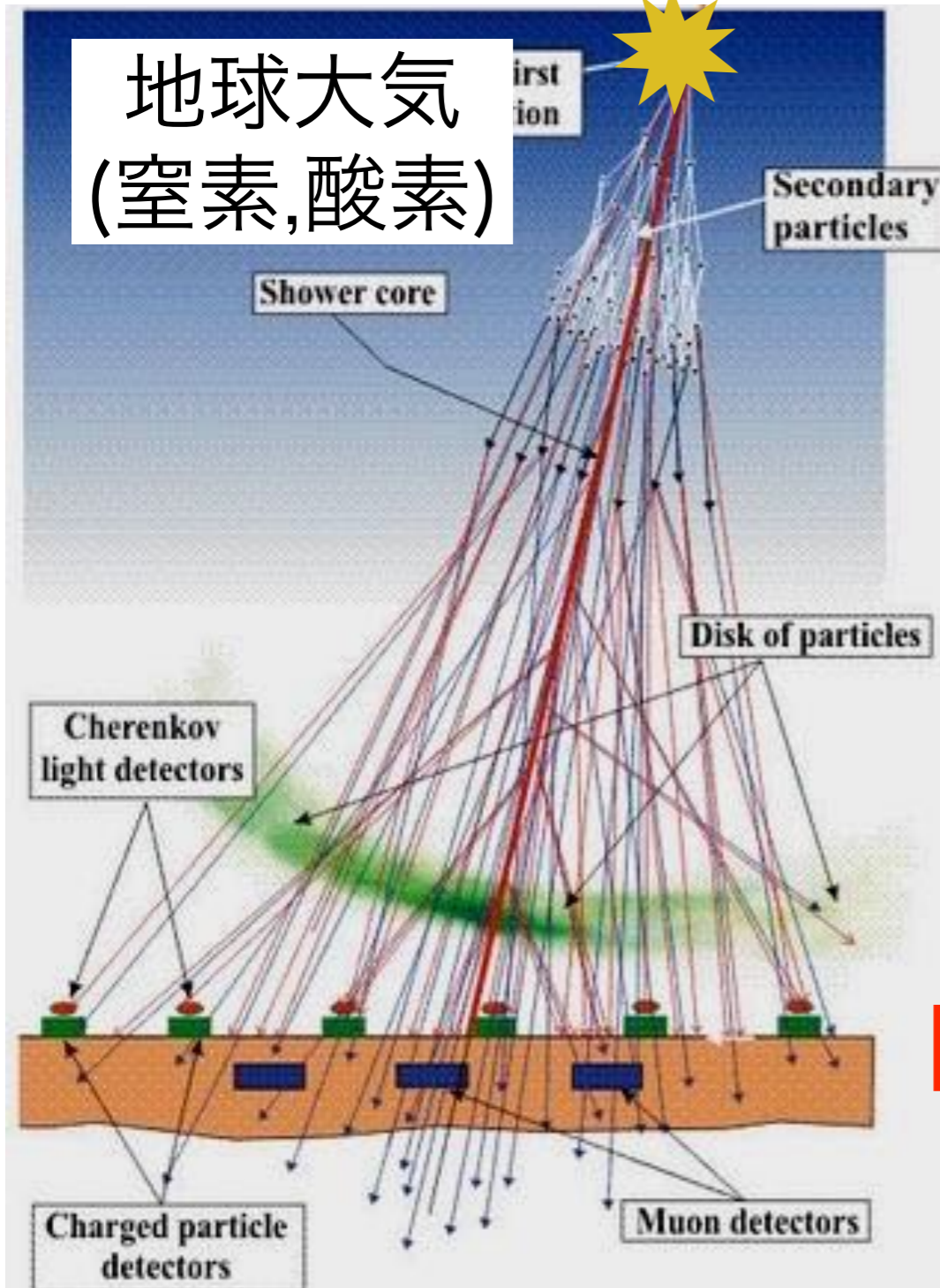
■ 大型計算機利用

■ 本年度の成果

- 2022年度、LHCf測定 ($pp \sqrt{s}=13.6\text{TeV}$) にむけての準備を加速
- データ解析の進展 (LHCf π^0 解析、RHICf光子解析など)
- 勉強会(ハイブリット形式)を開催予定 (3/22,23)

空気シャワーとハドロン相互作用

宇宙線(陽子,鉄など)



空気シャワーは、
高エネルギー粒子(宇宙線)と大気原子核衝突
2次生成粒子と大気原子核衝突
またその2次粒子と、、、
無数の電磁+ハドロン相互作用によって形成

高エネルギー領域での理解が重要

現在のハドロン相互作用モデルの問題

- ▶ 化学組成決定の不確定性
モデル間の差 > 実験誤差
- ▶ ミューオン超過問題
どのモデルも実験を再現できていない

加速器実験によって

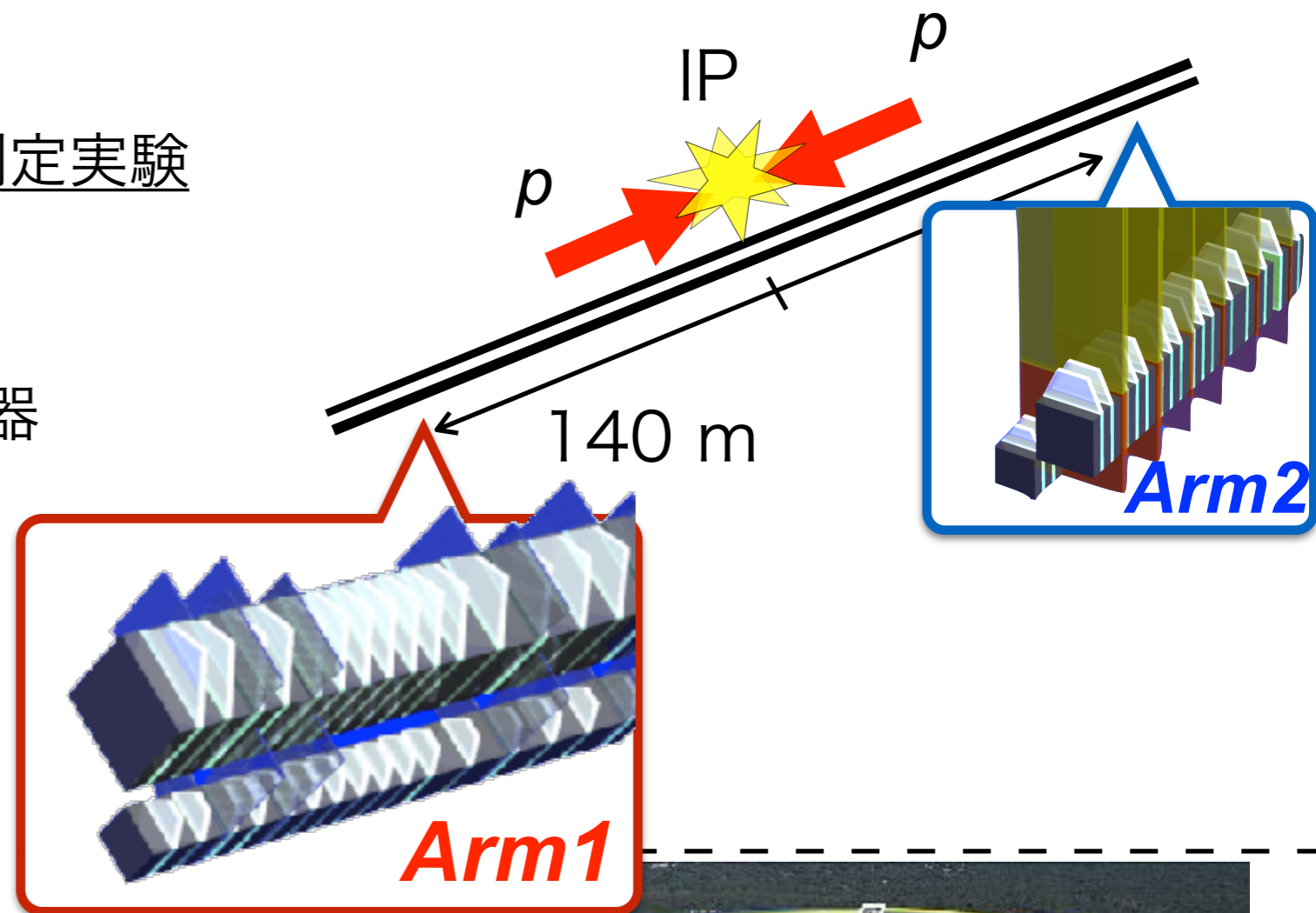
ハドロン相互作用の理解を進め、
高エネルギー宇宙線観測の課題を解決

LHCf/RHICf実験

LHCf実験

- CERN-LHC加速器の最前方領域測定実験
- ATLAS衝突点の両側140mに検出器を設置 (Arm1、Arm2)
- サンプリングカロリメータ検出器
 - ▶ タングステン(44 r.l.)
 - ▶ GSOシンチレータ 16層
 - ▶ 位置検出層 4層

Arm1: GSOバーXYホドスコープ
Arm2: シリコンストリップ



RHICf実験

- BNL-RHIC加速器の最前方領域測定実験
- STAR実験衝突点の片側18mにLHCf-Arm1検出器を設置。
- 偏極陽子を用いており、スピン物理の測定も実施。



測定と解析状況

■ 測定

LHCf

pp衝突, $\sqrt{s} = 0.9, 2.76, 7, 13 \text{ TeV}$

pPb衝突, $\sqrt{s_{NN}} = 5, 8 \text{ TeV}$

RHICf

pp衝突, $\sqrt{s} = 0.51 \text{ TeV}$

宇宙線換算

$\sim 10^{17} \text{ eV}$

$\sim 10^{14} \text{ eV}$

■ 本年度の解析の進展

LHCf

□ pp 13TeV π^0 測定結果の更新 @ ICRC 2021

□ LHCf-ATLAS連動解析

- 光子(Diffractive Col.)

- 中性子(MPIモデル検証)

進行中

RHICf

□ 光子の微分断面積測定

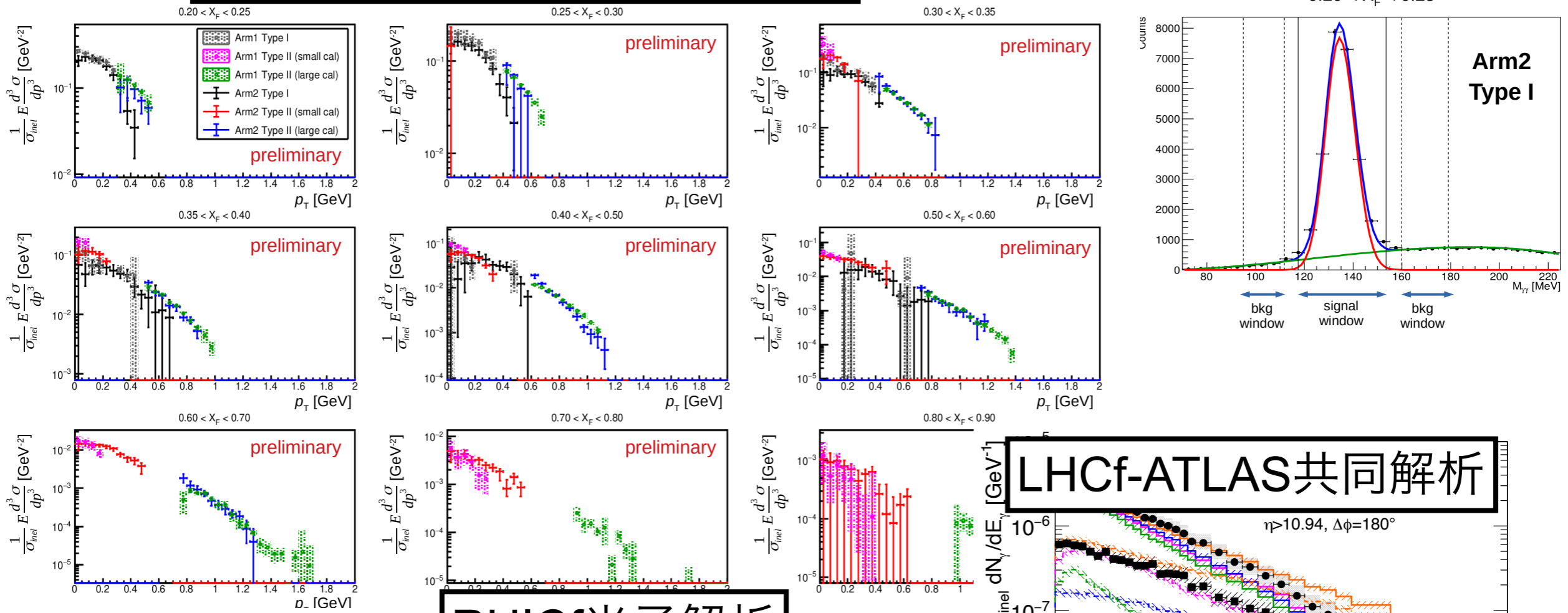
論文準備中

□ 測定中の性能評価、論文

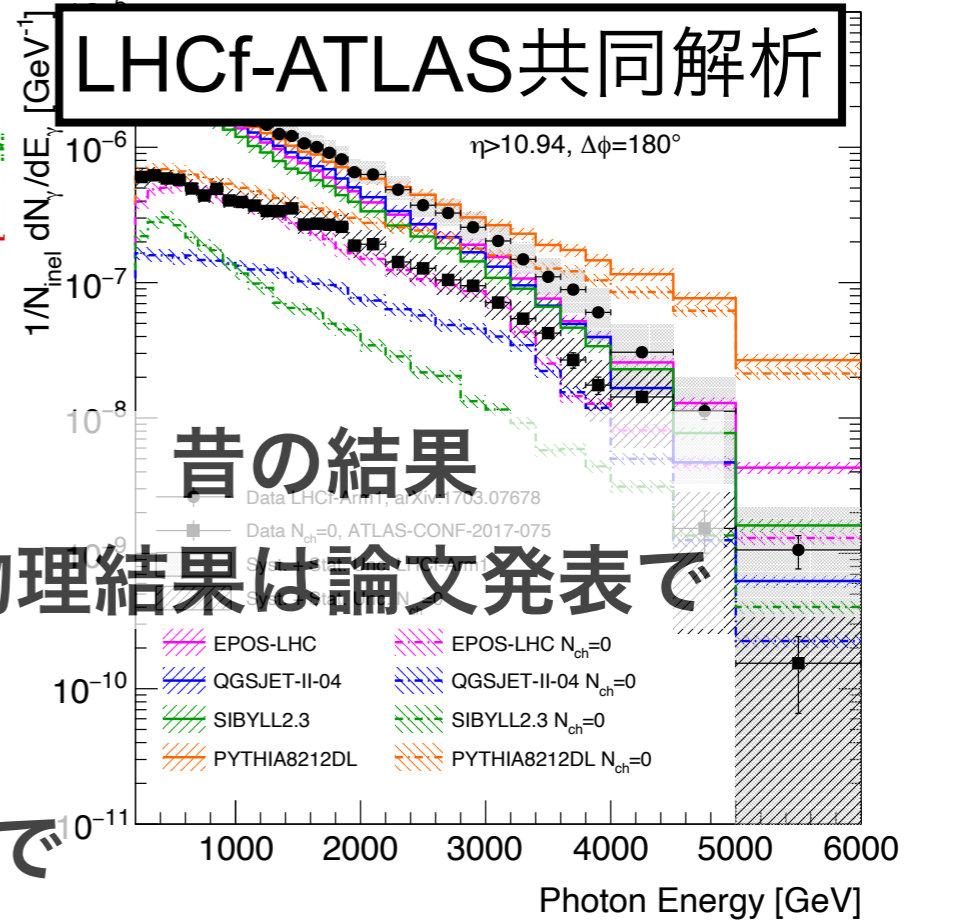
JINST (2021) 16 P10027

データ解析の進展

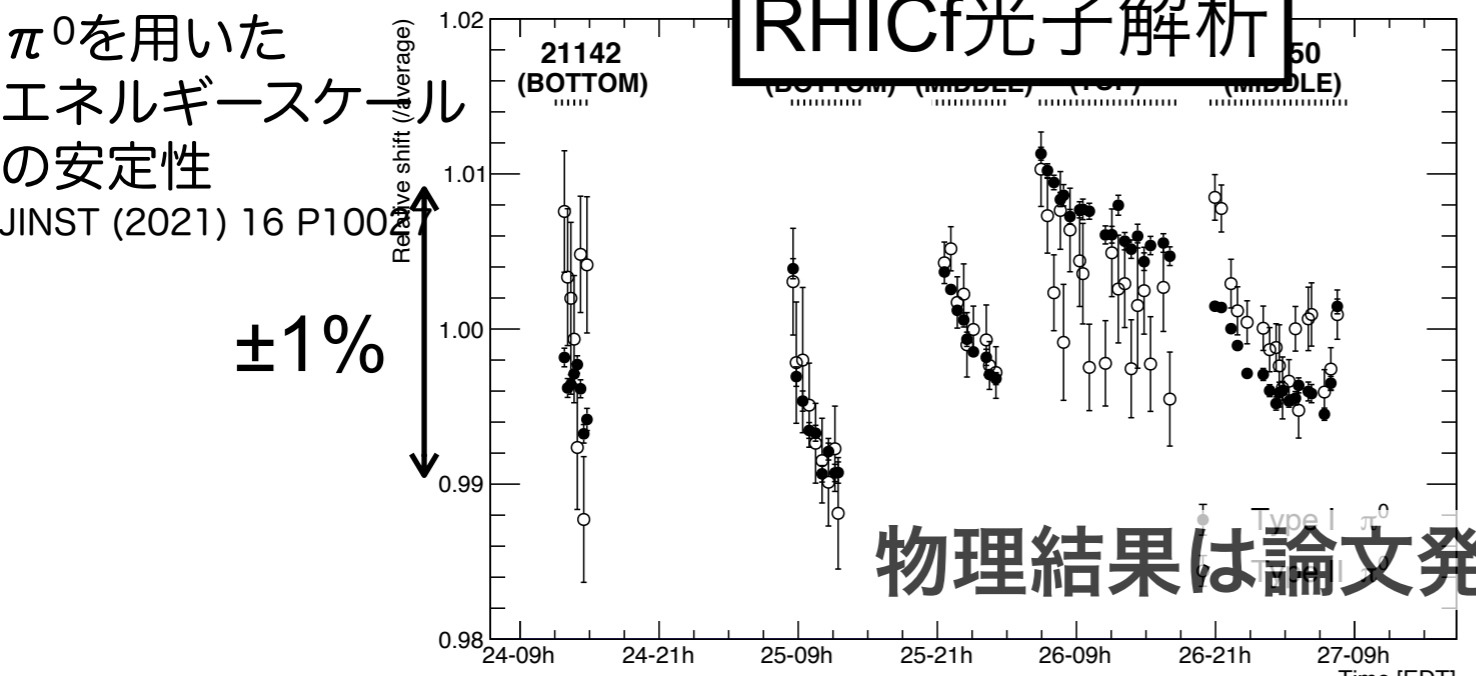
π^0 スペクトル @ pp, $\sqrt{s}=13\text{TeV}$



LHCf-ATLAS 共同解析



RHICf 光子解析



2022年度 pp 13.6 TeV測定

■ 最大エネルギーでのpp衝突測定

□ 重心系エネルギー $\sqrt{s} = 13.6 \text{ TeV}$ ($\Leftrightarrow 13\text{TeV}@2015$)

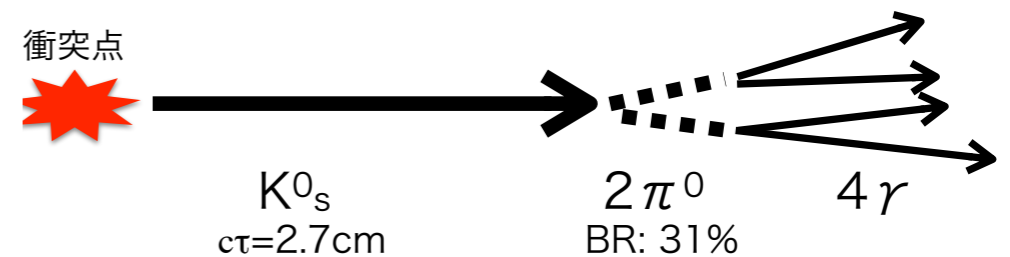
□ 高統計データ $\times 10$ (π^0 , ATLASとの共同)

□ ストレンジ粒子測定 (K^0_s , Λ)
→ 大気ニュートリノフラックス
予測精度の改善

□ ATLAS ZDC, RPとの共同測定
→ より広い相互作用研究。

例、One-Pion Exchangeを通じた陽子-パイオン衝突の測定

K^0_s 測定 ($K^0_s \rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$)



■ 測定計画

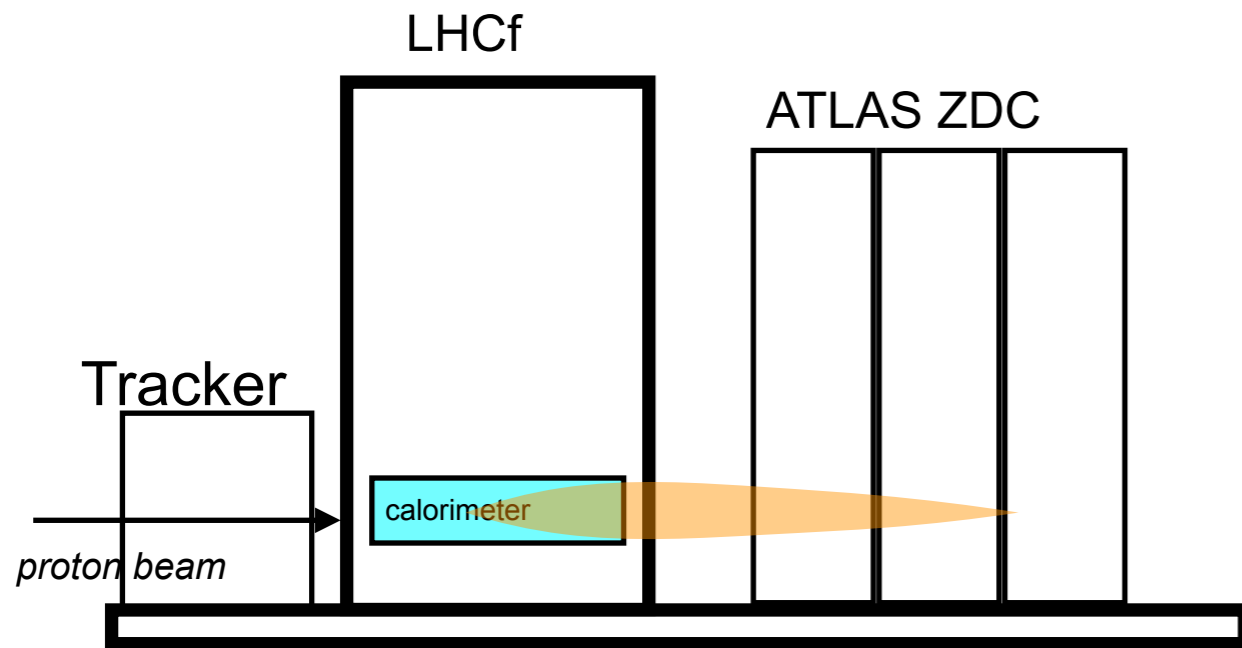
□ 2022年9月半ばに約4日間に実施。

□ 直前のTSに検出器を設置、終了後は即座に取り外し。

2022年測定準備状況とコロナの影響

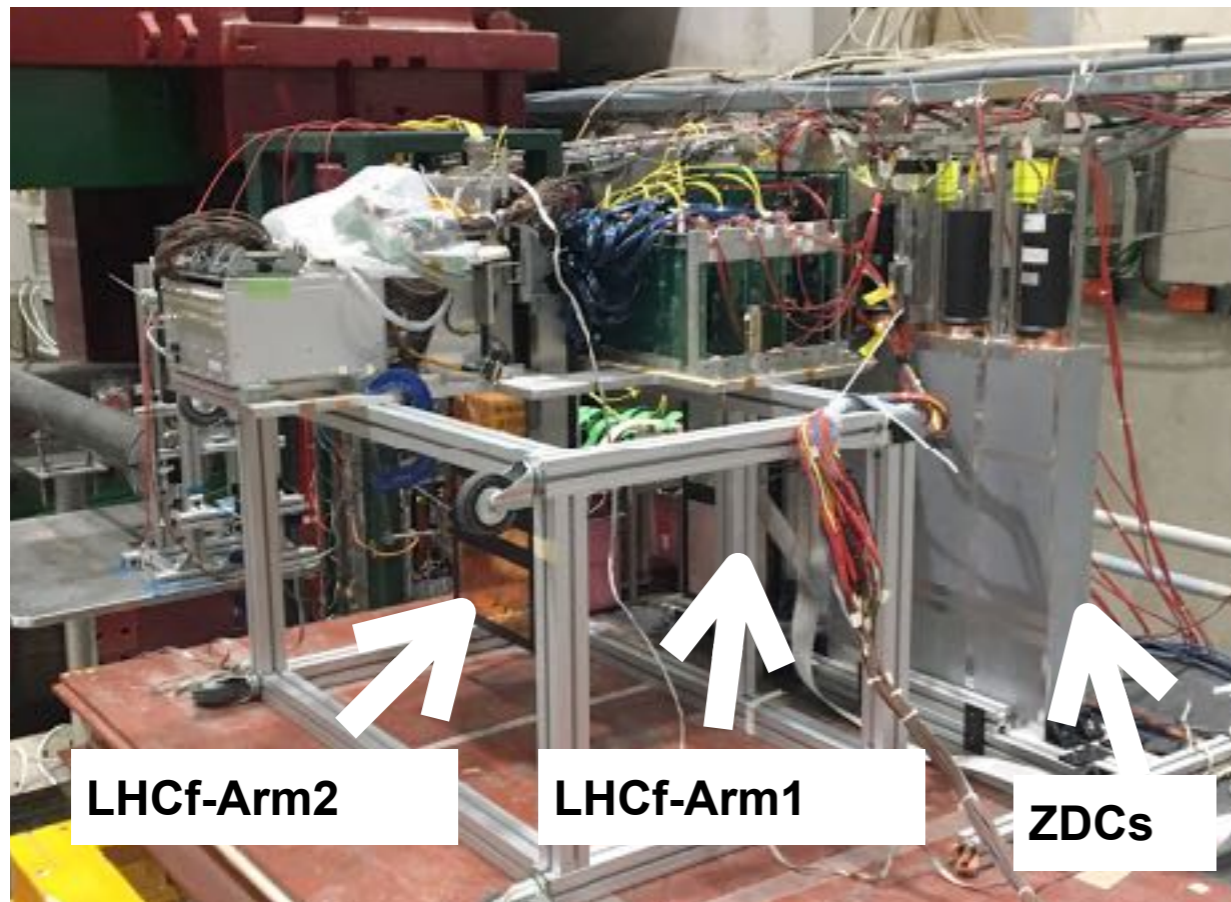
- 9月にCERN-SPSにてビームテストを実施
 - Arm1,Arm2両検出器の動作テスト
 - Arm2新シリコン読み出しシステムの動作テスト
 - ATLAS-ZDCとの共同データ取得
 - 参加できる人員が限られてしまったので、内容を限定して実施。
- CERNでの測定準備
 - 11月にArm2検出器をLHCトンネル内に設置して新読み出しシステムの動作試験。
 - 日本メンバーもこの2, 3月にCERNに行って、DAQやコントロールルームなどの準備予定だったが延期。
 - 年度明けなるべく早い次期に実施予定。

CERN-SPS ビームテスト



ATLAS-ZDCとの共同ビームテスト

- ハドロンシャワーのエネルギー測定性能の改善を検証。予想：40%→20%
現在データ解析中!!



LHCfメンバー

ZDCメンバー

日本から参加できたのは
1人（毛受）だけ

空気シャワー観測による 宇宙線の起源探索勉強会

2020年度（去年）プログラム

- 例年、年度末に勉強会を開催。
2017年度から共同利用研究「新しい宇宙線空気シャワーシミュレーションコード開発」との共同開催。
- ”去年度”は、3/25,26にオンラインで開催。
- 本年度は、3/22,23に開催予定。
 - ハイブリット形式。
 - 22日は若手セッション
→若手間の交流と相互の研究理解
 - 23日はシニアセッション
→「銀河系内外のトランジション」がテーマ
- COSMOS講習会も同時開催予定

第四回 空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会
期 25 Mar 2021, 13:00 → 26 Mar 2021, 18:00 Asia/Tokyo
ONLINE

THURSDAY, 25 MARCH

- 13:00 13:00 17:00 若手セッション: 2日目午後
- 13:00 趣旨説明
Speaker: Hiroaki Menjo (Nagoya University, JP)
13:05 非線形性と多重度の相違およびそのX-MAX 予測への影響
Speaker: Ken Ohashi (Nagoya University, JP)
13:35 銀河磁場の最高エネルギー宇宙線の真力性解析への影響
Speaker: H...
14:05 "A"型線に
Speaker: H...
14:35
14:50 超高エネルギー宇宙線
Speaker: V...
15:10 超高エネルギー宇宙線
Speaker: H...
15:30 10¹⁷eV
Speaker: H...
15:45
16:00 デレンシ
Speaker: S...
16:10 チェレンコ
Speaker: T...
16:40 演習
- 17:00 19:00 Special Gher: <https://paperkit.net/>

FRIDAY, 26 MARCH

- 10:00 11:45 シニアセッション: 2日目午前
- 10:30 趣旨説明
Speaker: Hiroaki Menjo (Nagoya University, JP)
10:45 理論からの超高エネルギー宇宙線観測への期待
Speaker: Kazuaki Asano (ICRS)
10:55 ASANO.pdf ASANO.pptx
11:45 TALE観測による空気シャワー観測
Speaker: Koki Sato (Osaka City University)
11:55 LHCTと相対作用研究の将来計画
Speaker: Hiroaki Menjo (Nagoya University)
11:55 302-0425_Ashew...
- 11:40 12:00 ランチ
- 12:00 12:15 シニアセッション: 2日目午後
- 12:30 FASERによるLHCでのニュートリノ測定と新ガンマ線観測装置のアイデアの紹介
Speaker: Toshihiro Inada (ICRS)
12:30 31013_Inada_upload...
12:55 素天50MTeVガンマ線観測(ALPICA)の将来計画
Speaker: Kazumasa Kawada
13:40 現在のLHCの観測と改善の可能性
Speaker: Michiko Oishi (ICRS)
13:40 ASH02-025.pdf
- 14:30 Break
- 14:50 広視野・高角分解能を兼ね備えたPerF宇宙線観測器
Speaker: Toshihiro Fujii (ICRS, JAEA)
15:15 Simple FD Array for LHCFC Observation
Speaker: YUICHIKI TAKEDA (Osaka Electro-Communication University)
15:40 Discussion

Indico: <https://indico.cern.ch/event/1118785/>

まとめ

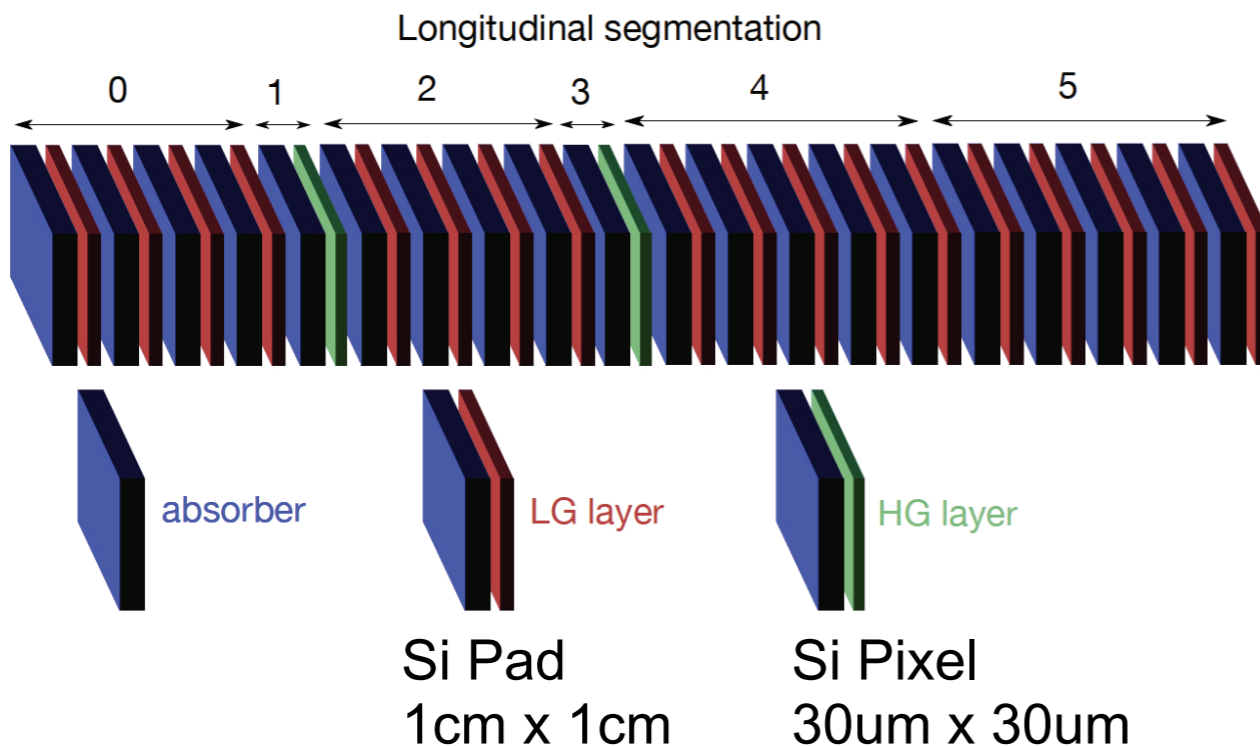
- LHCf/RHICf実験は、宇宙線相互作用理解のために、LHCとRHIC加速器で最前方領域測定実験を実施している。
- これまでに取得したデータ解析を進めてい
 - LHCf pp $\sqrt{s}=13\text{TeV}$ π^0 最新結果
 - RHICf pp $\sqrt{s}=510\text{GeV}$ 光子解析の論文準備中
 - ATLAS-LHCf連動解析
- 2022年 pp $\sqrt{s}=13.6\text{TeV}$ 衝突測定の準備
 - CERN-SPSにて9月にビームテストを実施
 - CERNでの測定準備を進めているがコロナにより遅れ
- (2024年にp0(OO)衝突の測定を予定)
- 勉強会を毎年年度末に開催。

Backup

次期測定 RHICfII

■ RHICf II

- 広いアクセプタンスを持つ新検出器でpp衝突測定
新検出器：Si Pad + W カロリメータ
↔ALICE-FoCalグループと協力して開発
- RHIC-PACにLoIを8月に提出。
- 2024年に測定を予定
- 高統計 π^0 データ、 K^0_s 測定



Letter of Intent RHICf-II experiment in Run 24

Y. Goto, I. Nakagawa, and R. Seidl
*RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science,
Wako, Saitama 351-0198, Japan*

T. Sako
ICRR, University of Tokyo, Kashiwa, Chiba, Japan

A. Tricomi
INFN Section of Catania, Catania I-95123, Italy

O. Adriani, L. Bonechi, and R. D'Alessandro
INFN Section of Florence, Sesto Fiorentino (FI) I-50019, Italy

K. Tanida
Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, Ibaraki 319-1195, Japan

B. Hong and M.H. Kim
Korea University, Seoul 02841, Korea

Y. Itow, and H. Menjo
Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan

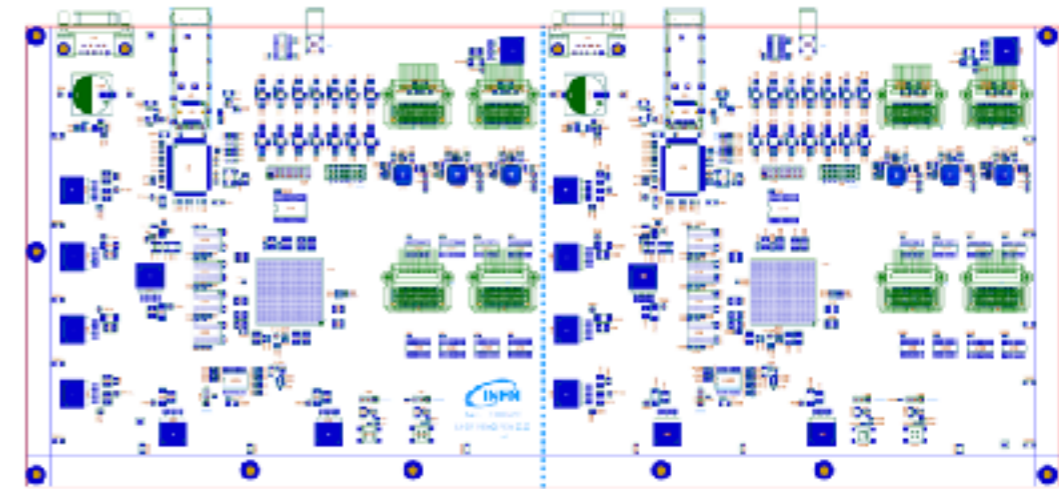
K. Kasahara
Shibaura Institute of Technology, Minuma, Saitama 337-8570, Japan

T. Chujo
Tsukuba University, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

August 31, 2020

次期 LHCf測定 Run3

- 陽子-陽子衝突測定 $\sqrt{s}=13, 14$ TeV
 - 2022年測定予定（コロナ影響で1年延期）
 - 10倍の高統計データ取得
 - π^0 の精密測定、 K^0_s ($\rightarrow 2\pi^0 \rightarrow 4\gamma$) 測定
 - 準備が進行中
 - ・ シリコン検出器の読み出しの高速化
 - ・ アナログ遅延回路の導入
 - ・ K^0_s 解析手法の開発



新シリコン検出器読み出し回路
イタリアグループが開発しており、プロトタイプ試験中

- 陽子-酸素 衝突測定
 - 宇宙線-大気衝突を再現する理想的測定条件。 原子核効果の測定
 - LHC-Run4 (2027-)以降では、ビームパイプ構造が変更になるため現在のLHCf検出器は設置できなくなる。
 - 陽子-酸素衝突がLHC-Run3(2021-2024)期間で実現するかは春頃に決まる予定
 - ・ Workshop “ Opportunities of OO and pO collisions at the LHC ”
Online, 4-10 Feb 2021, <https://indico.cern.ch/e/oxygen>
 - ・ 実現を求めるレターをLHCC(運営委員会)議長へ提出。
→ レターは100名以上の世界中の宇宙線研究者がサイン。