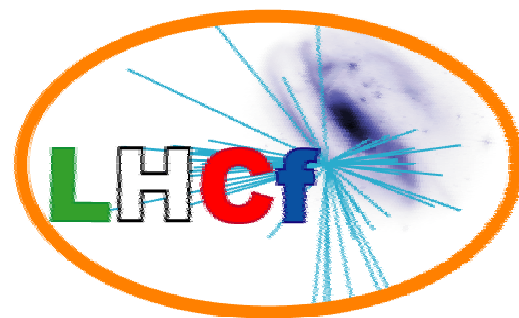


Knee領域および最高エネルギー領域での 宇宙線反応の実験的研究 (LHCf 実験)

増田公明 (名大STE研)

LHCf collaboration

東大宇宙線研 福島正己 他



2010年12月18日

平成22年度 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表研究会

共同利用研究課題

- **LHC加速器における $900\text{GeV} \sim 14\text{TeV}$ (ビーム当たり $450\text{GeV} \sim 7\text{TeV}$) 陽子衝突によって生成される最前方中性粒子を測定し, 宇宙線反応に寄与するハドロン相互作用モデルの検証を行う (LHCf 実験)。**
- **モデルの違いによる $10^{17} \sim 10^{20}\text{eV}$ の宇宙線観測データの解釈に関してTAグループ等と検討及び議論を行う。**

平成22年度共同利用予算

- **査定額 旅費 200千円 (名古屋一泊)**
 - 宇宙線研でTAグループ等と種々の議論を行う
 - 1-3月の LHCf-TA joint meeting (仮) で使用予定
- **共同利用計算機の使用**
 - MCシミュレーション
 - データ解析



LHCf Japan

甲南大理工 村木綏*

名大STE研

伊藤好孝, 増田公明, 松原豊, 塔隆志, 三塚岳,
野田浩司, 間瀬剛, 滝和也, 川出健太郎, 鈴木健太,
深津幸平**

神奈川大学工 田村忠久

早稲田大学理工研

鳥居祥二, 笠原克昌, 清水雄輝, 中井幹夫, 鈴木拓也

芝浦工大システム工 吉田健二

* spokesperson, ** technical coordinator

LHCf collaboration



LHCf Japan



Italy

(Univ. di Firenze)

O. Adriani, L. Bonechi, M. Bongi, G.Castellini,
R. D'Alessandro, M. Grandi, H. Menjo, P. Papini,
S. Ricciarini, A. Viciani

(Univ. di Catania) A. Tricomi



Spain

(Centro Mixto CSIC-UVEG, Valencia) D.A. Faus, J. Velasco



France (Ecole-Polytechnique, Paris) M. Haguenaue

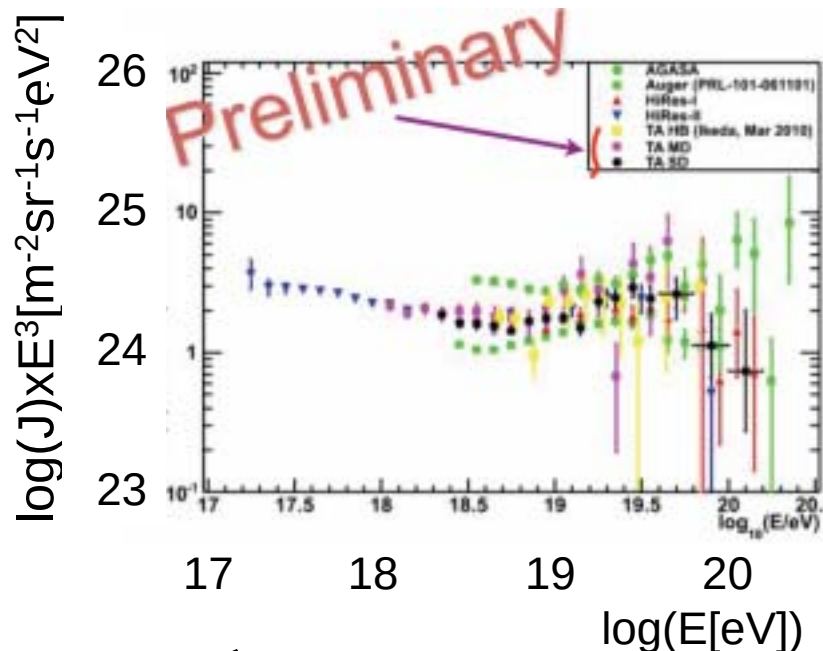


USA (UC Berkeley) W.C. Turner



Switzerland (CERN) D. Macina, A.-L. Perrot

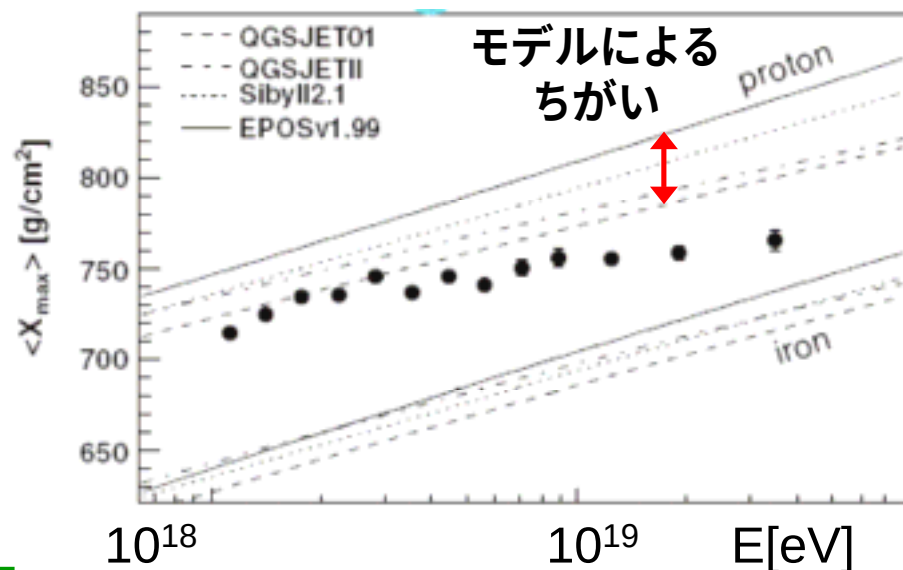
超高エネルギー宇宙線 (UHECR)



エネルギースケール？

HiRes, Auger, TA の観測

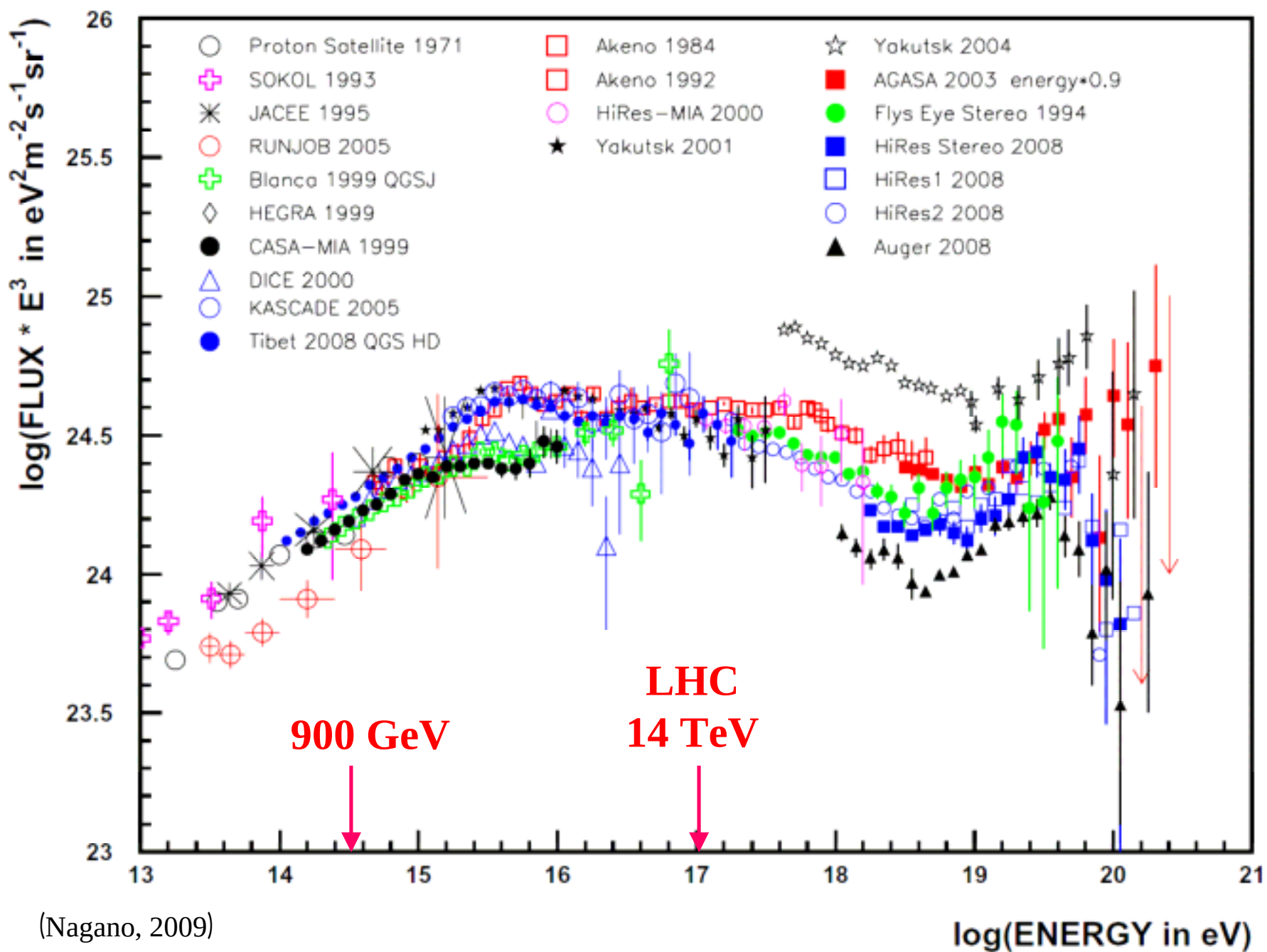
宇宙線の化学組成(Auger)



ハドロン相互作用モデルの検証



LHC加速器を用いた最前方粒子測定実験
LHCf



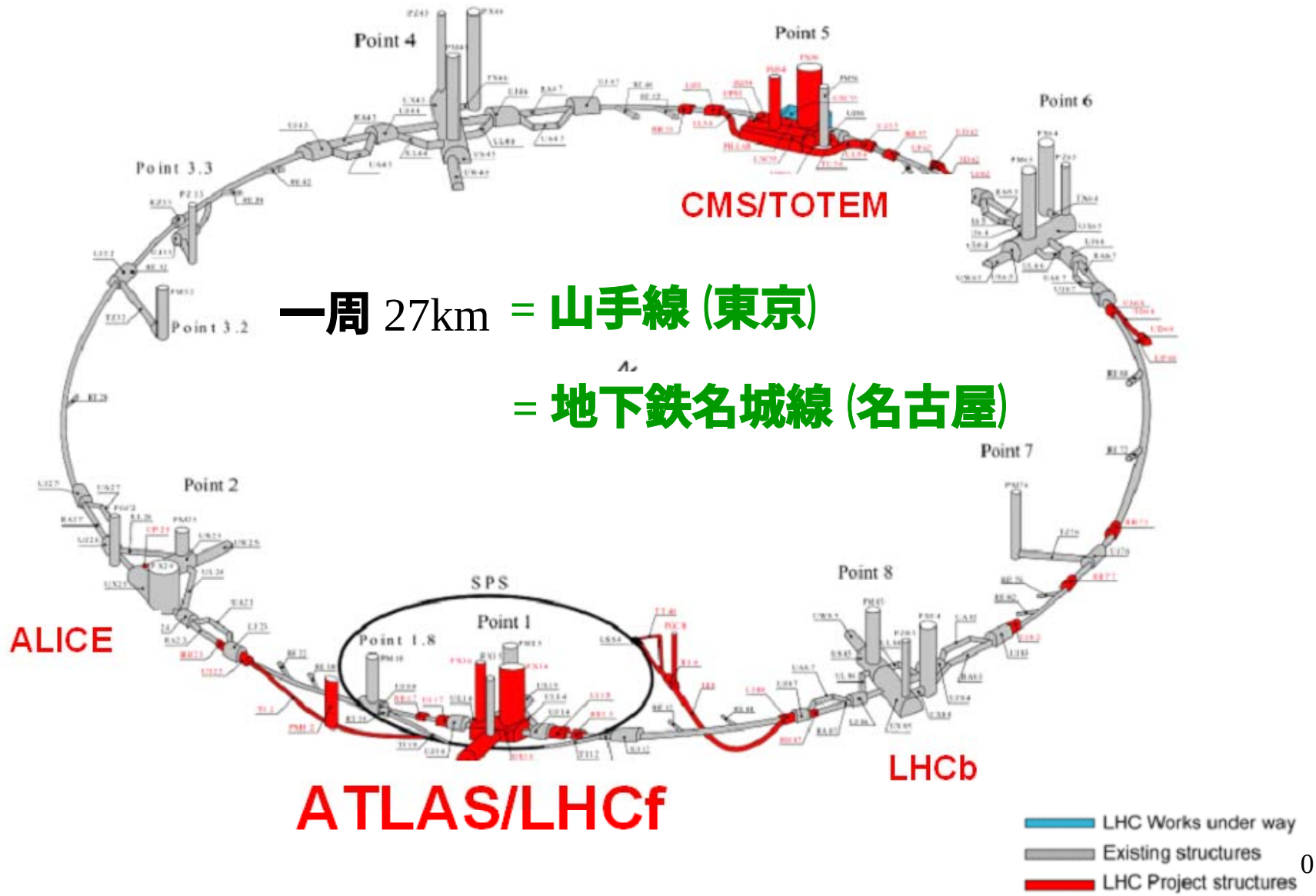
LHCf 実験の概要

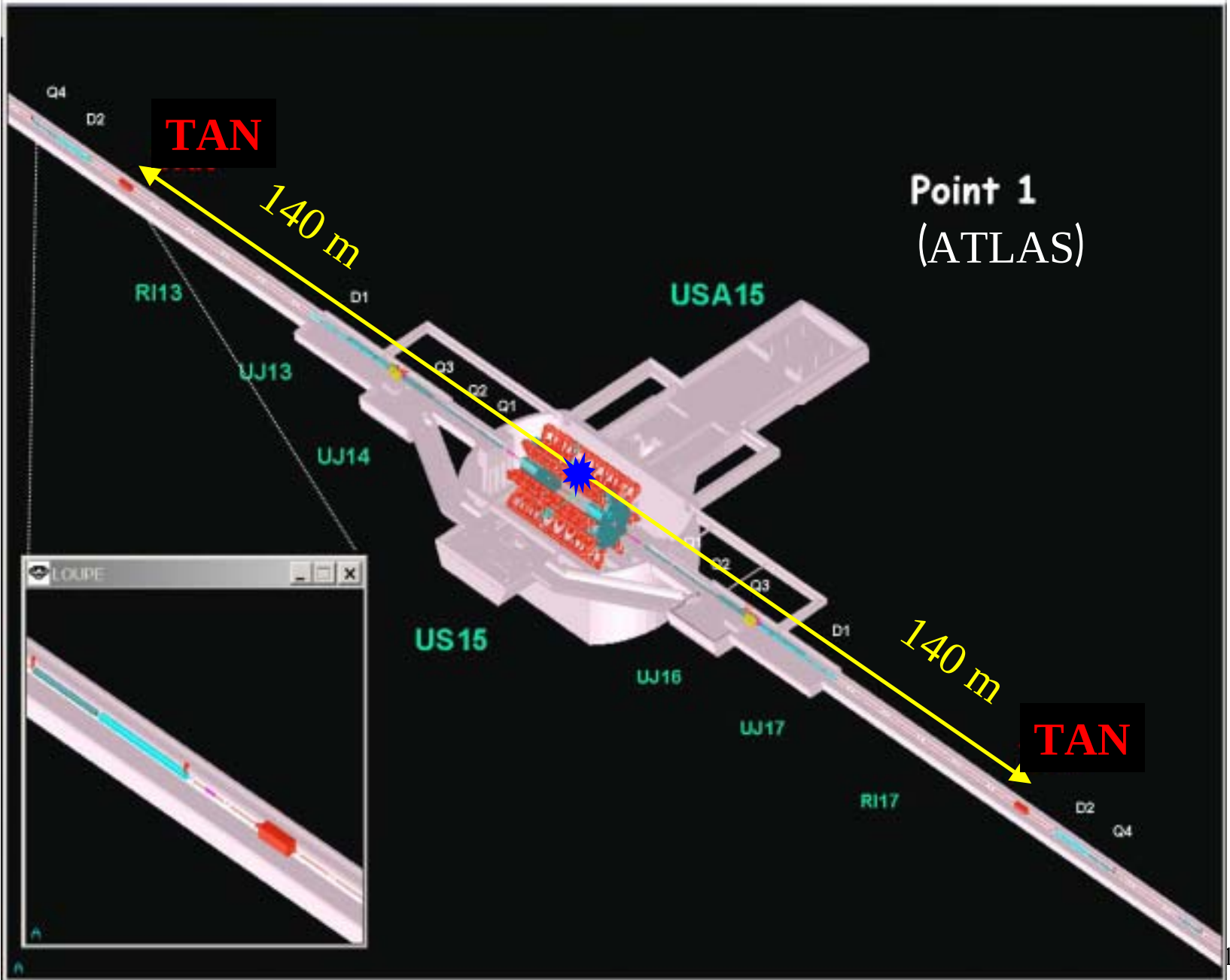
- 加速器実験でハドロン相互作用モデルを検証する
- CERNの最高エネルギー加速器 LHC (Large Hadron Collider) で, $450\text{GeV} \times 450\text{GeV} \sim 7\text{TeV} \times 7\text{TeV}$ 陽子衝突実験を行い, 最前方放出中性粒子を測定する
- 実験室系 $4 \times 10^{14}\text{eV} \sim 1 \times 10^{17}\text{eV}$ の宇宙線反応と等価
- その結果から 10^{17}eV までのハドロン相互作用モデルを検証し, さらにこれより高い超高エネルギー宇宙線観測データの正しい解釈を行う



LHC加速器

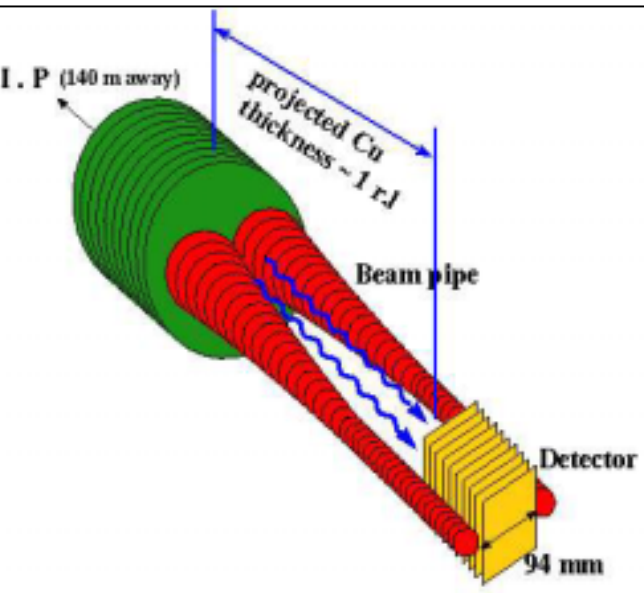
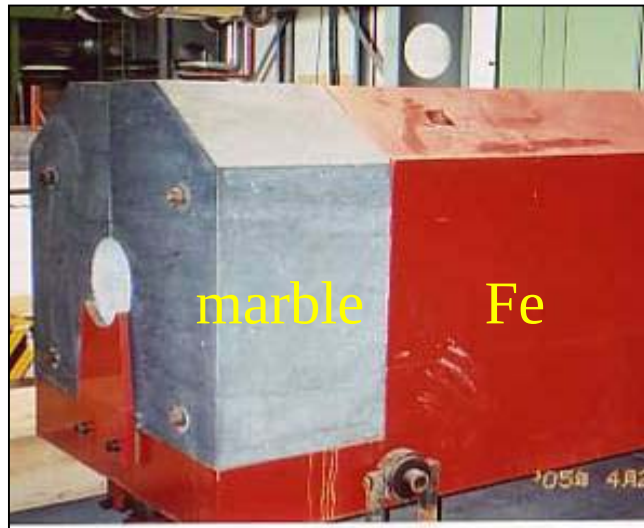
7TeV×7TeV 陽子衝突実験





LHCf 設置場所 (TAN)

LHCf検出器は、後方のマグネット保護のための遮蔽として衝突点から140 m離れた場所に置かれた **TAN** の中に設置された。



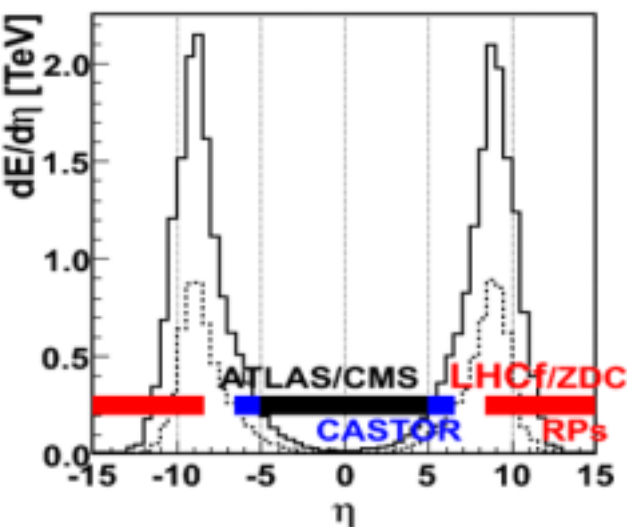
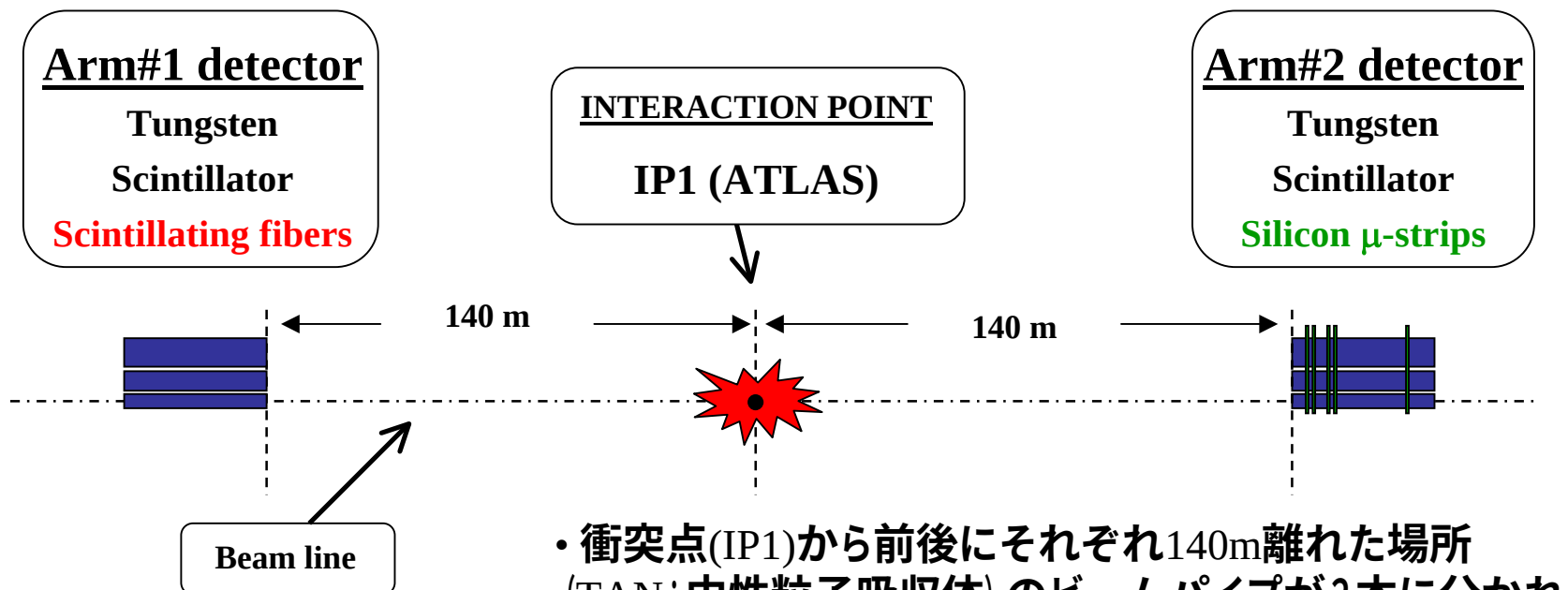
TANの中でビームパイプが2つに分かれる

荷電粒子は途中にある磁石で曲げられ、中性粒子のみがまっすぐ飛来する

pseudo-rapidity

$$\eta = 8.4 \sim \infty$$

LHCf: location and experimental layout



- 衝突点(IP1)から前後にそれぞれ140m離れた場所 (TAN: 中性粒子吸収体) のビームパイプが2本に分かれた所 (ビームの 0° 方向) に検出器を設置 ($y=8.4\sim\infty$)
- 衝突によって生成された最前方中性粒子 (γ, π^0 , 中性子) のエネルギーと P_t の測定
- 低 luminosity ($10^{28}\sim 10^{29} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$) のcommissioning時に測定 (multiplicity, DAQ rate, radiation damage)
- ダブルアーム測定 (Arm#1とArm#2の同時測定)
→ Redundancy, バックグラウンド除去

LHCf Detectors

2つの検出器はそれぞれ2つの
カロリメータタワーを持つ

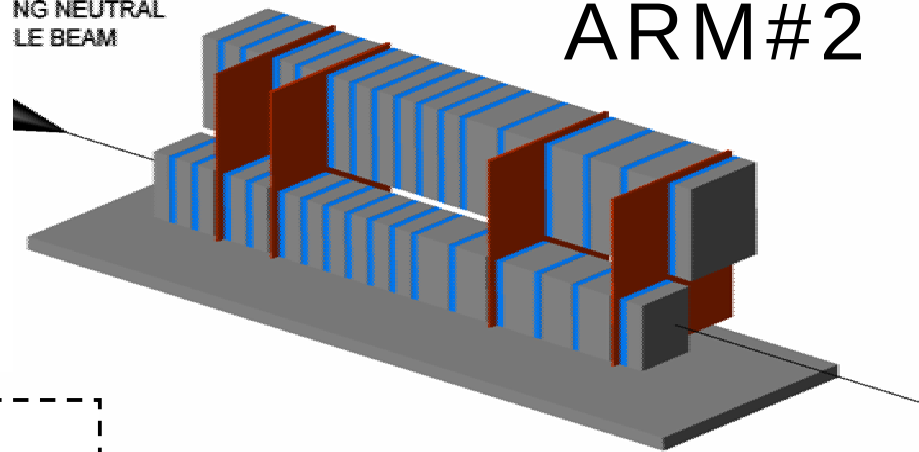
Arm#1 20mm◇, 40mm◇

Arm#2 25mm□, 32mm□

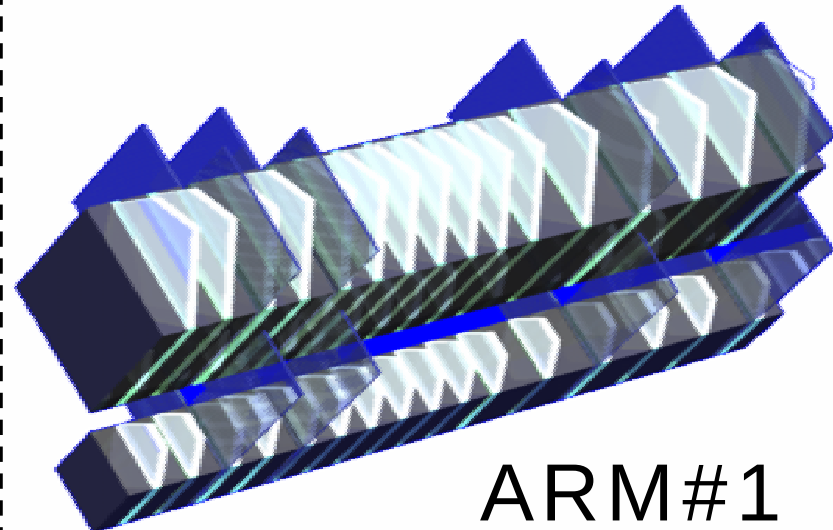
2 γ イベント $\Rightarrow \pi^0$ 再構成

- Imaging Sampling Calorimeter
W 44 r.l, $1.6 \lambda_I$
Plastic scintillator $\times 16$ layers
- Position Detector
Scifi $\times 4$ (Arm#1) $\sigma_x = 0.17\text{mm}$
Silicon Tracker $\times 4$ (Arm#2)
 $\sigma_x = 0.05\text{mm}$
- Energy Resolution
<5% (gamma), 30% (hadron)

NG NEUTRAL
LE BEAM



ARM#2



ARM#1

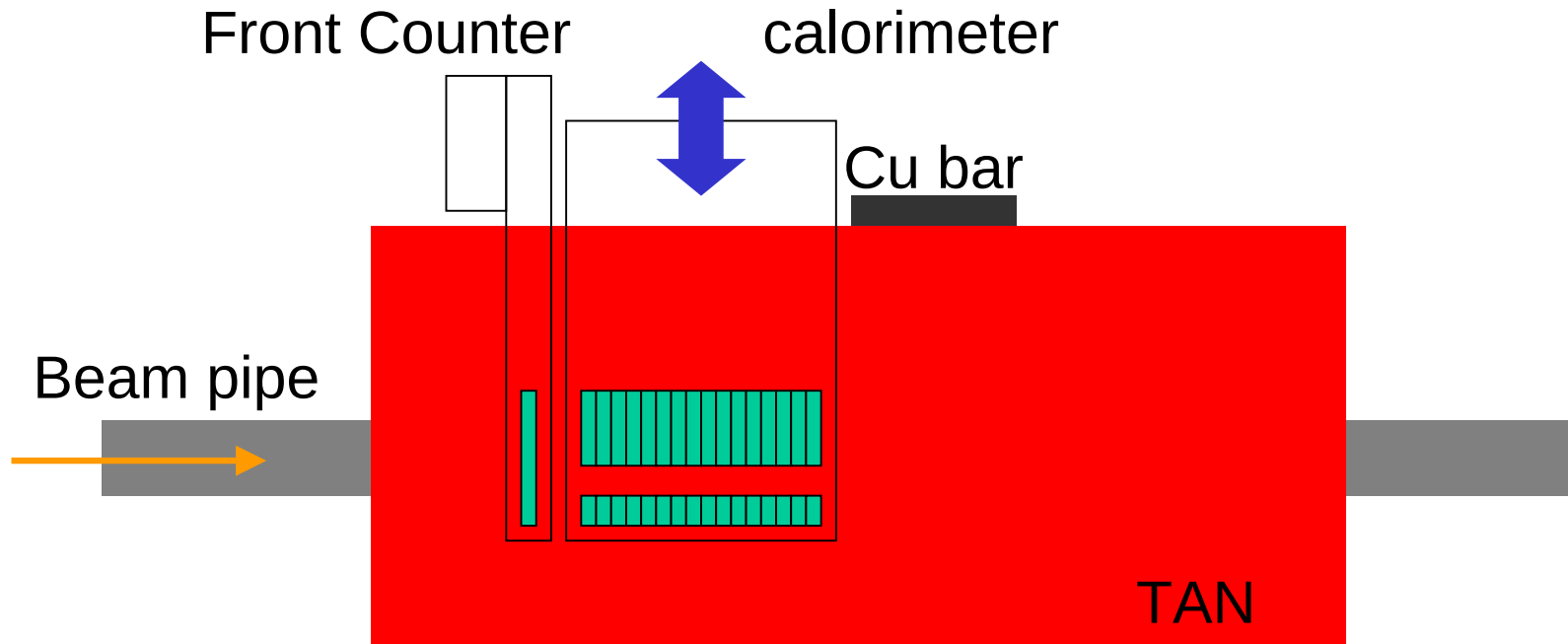
Arm#1



Arm#2



Front Counterの利点



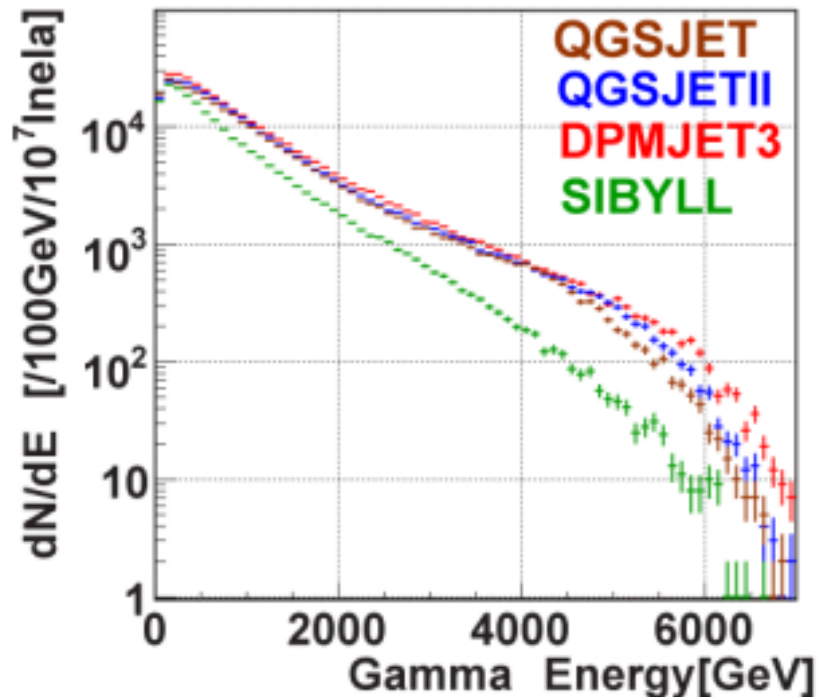
- カロリメータは必要に応じて上下に移動する
- Front counter は上下に移動しない
 - 簡易的なビームモニターとして利用できる
- Front Counter の信号をトリガーとして利用できる

LHCf 検出器とモデル弁別 (simulation)

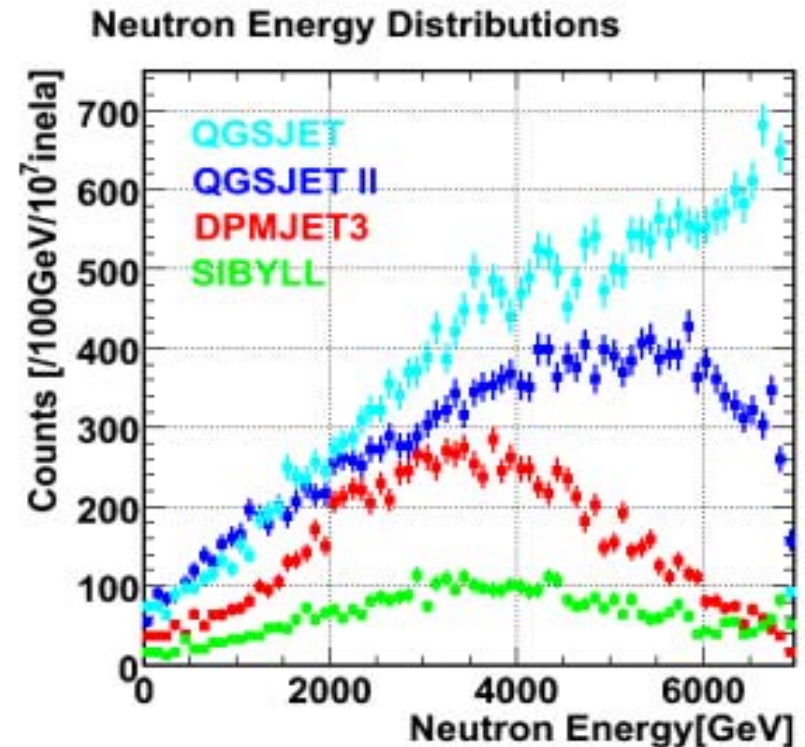
Simulationによる 20mm Calorimeterに入射する粒子のエネルギー分布

For 14 TeV collisions

ガンマ線



中性子



LHCf 準備経過

- 2004年 5月 Letter of Intent
 - 2004年 7月 プロトタイプ検出器テスト (SPS/CERN)
 - 2005年10月 Technical Report
 - 2006年 2月 Technical Design Report
 - 2006年 6月 実験承認 (LHC Committee)
 - 2006年 8月 Arm#1 検出器較正 (SPS)
 - 2007年 8月 Arm#1/#2 検出器較正 (SPS)
 - 2008年 1月 Arm#1/#2 検出器 最終インストール
-

LHC/LHCf の状況 (2009年)

2008年 9月 LHC完成, first beam によるeventを検出
→ 10日後にマグネットの事故で LHC が停止

2009年10月 LHC修理完了, 11月 Beam 再開

2009年11月20日～ LHCビーム commissioning
エネルギー 450 GeV 衝突 → LHCf データ取得
– 12/11-12 450 GeV stable beams, collision data of LHCf
12月14日 1.18 TeV 衝突 (stable beam なし)

LHCf 検出器の状況 (2010年)

2010年 1月以降

測定システムの改良

DAQ, Front counter, Laser calibration

各エネルギーに対するMC

4月 3.5 TeV ビーム衝突

データ取得

7月 実験終了ー検出器撤去

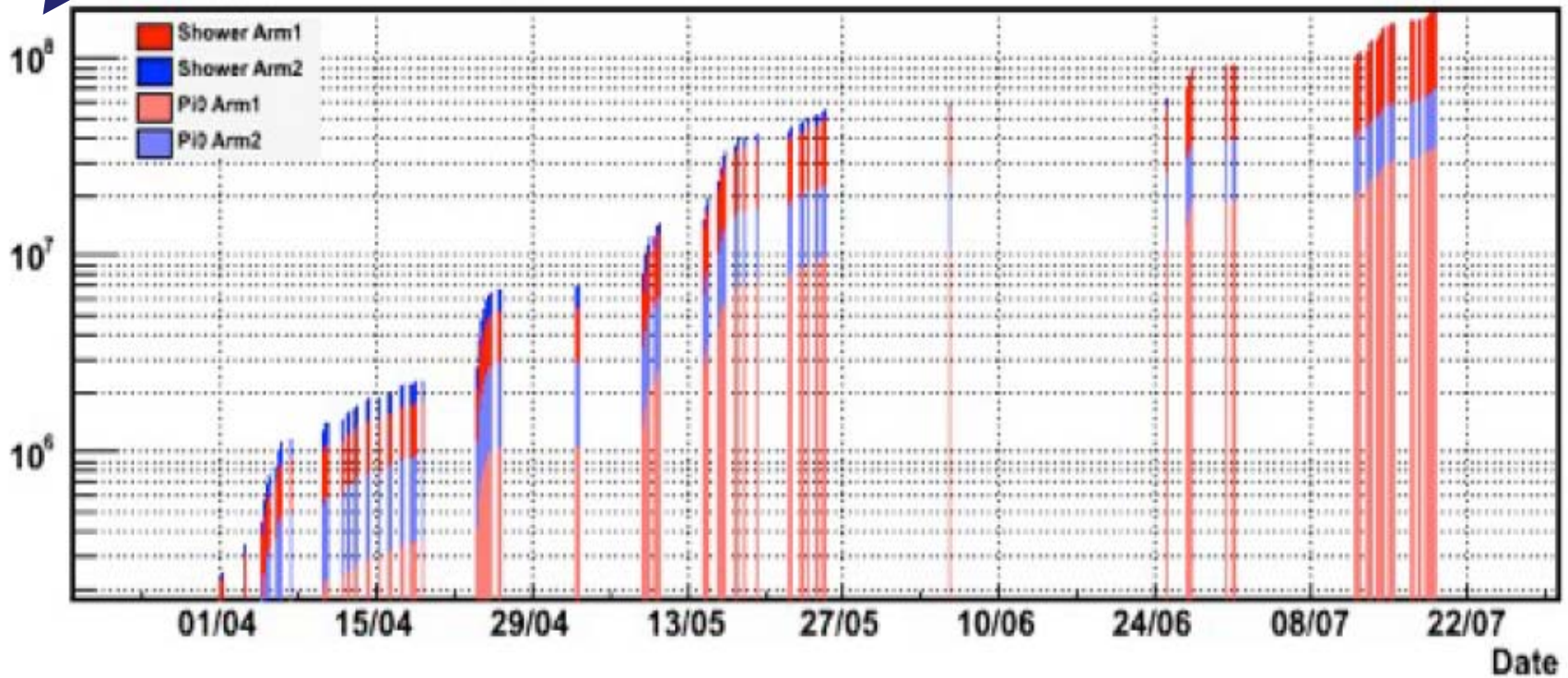
10月 SPSキャリブレーション実験

Accumulated Events in 2010

10^8 events!

LHCf removal

Integrated Shower & π^0 (x100) Events at 3.5TeV



Summary of Operations in 2009 and 2010

900 GeV 安定ビーム (no crossing angle)

Total of 42 hours for physics

About **10^5 showers** events in Arm1+Arm2

06 Dec. – 15 Dec. 2009

27.7 hrs, 500k collisions [2.8k/3.7k single showers]

02 May – 27 May 2010

15 hrs, 5.5M collisions [44k/63k single showers]

7 TeV 安定ビーム (0 and 100 μ rad crossing angle)

Total of 150 hours for physics with different setups

Different vertical position to increase the accessible kinematical range

30 Mar. – 19 July 2010

~ **$4 \cdot 10^8$ shower events** in Arm1+Arm2 [172M/161M single showers]

~ **10^6 π^0 events** in Arm1+Arm2 [345k/676k π^0 s]

Summary of Operations in 2009 and 2010

Status

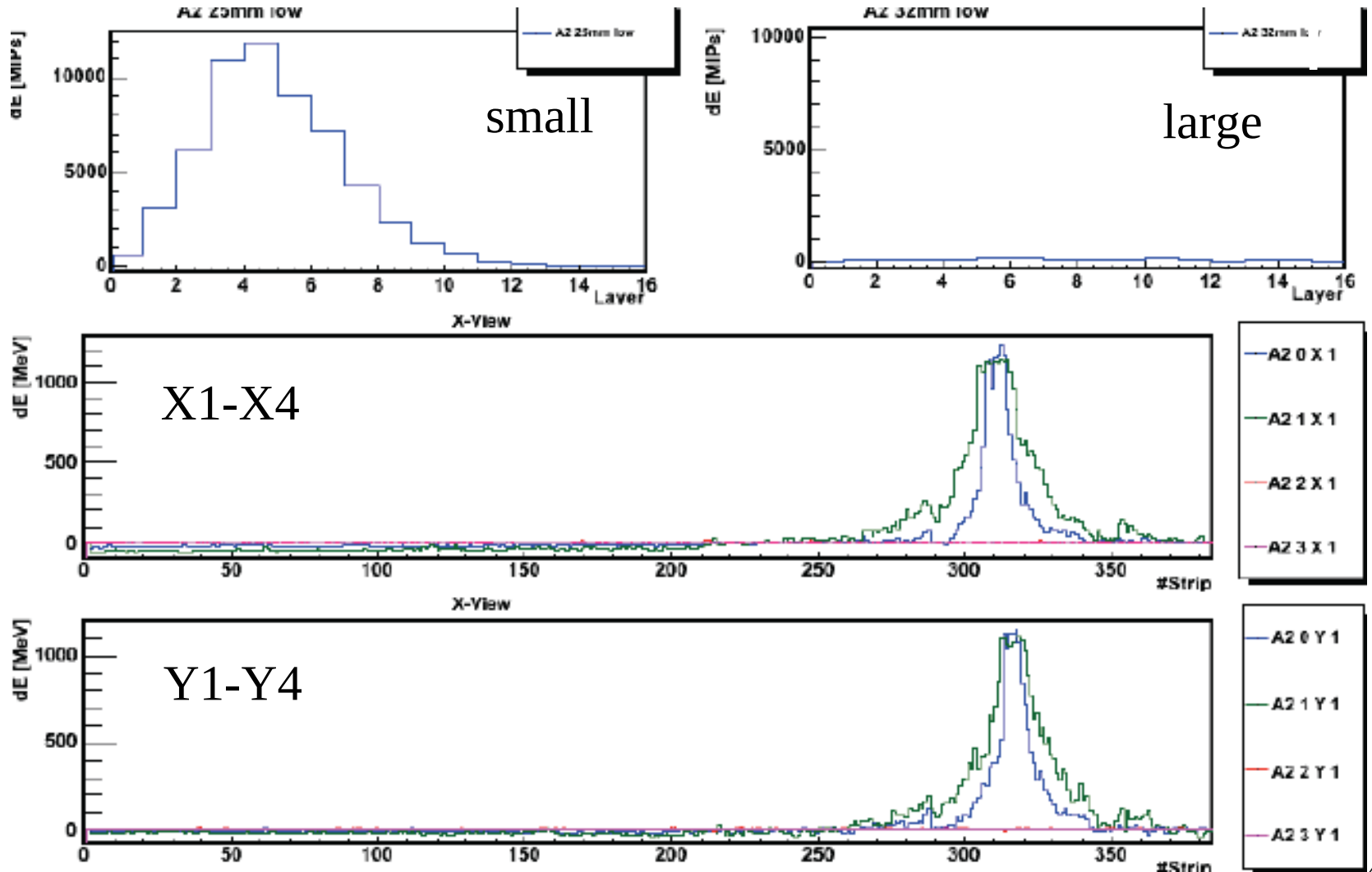
900 GeV 及び 7 TeV の衝突実験を完了

July 2010 トンネルから検出器を撤去

Oct. 2010 事後較正のためのSPSビームテスト

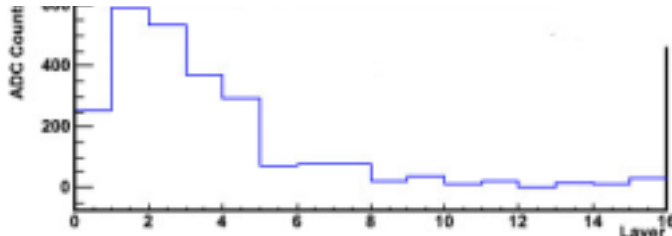
2013年の14 TeVでの運転に向けて, 放射線耐性の大きい検出器への upgrade

Event sample measured by Arm2 at 30 March 2010



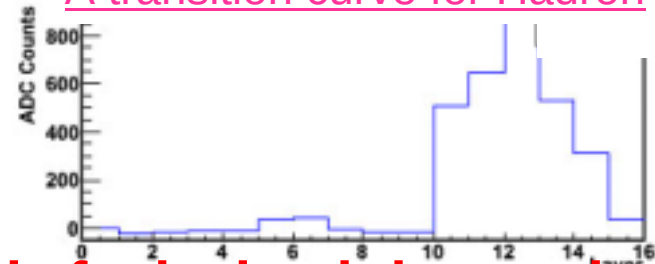
Particle Identification

A transition curve for Gamma-ray



Thick for E.M. interaction ($44X_0$)

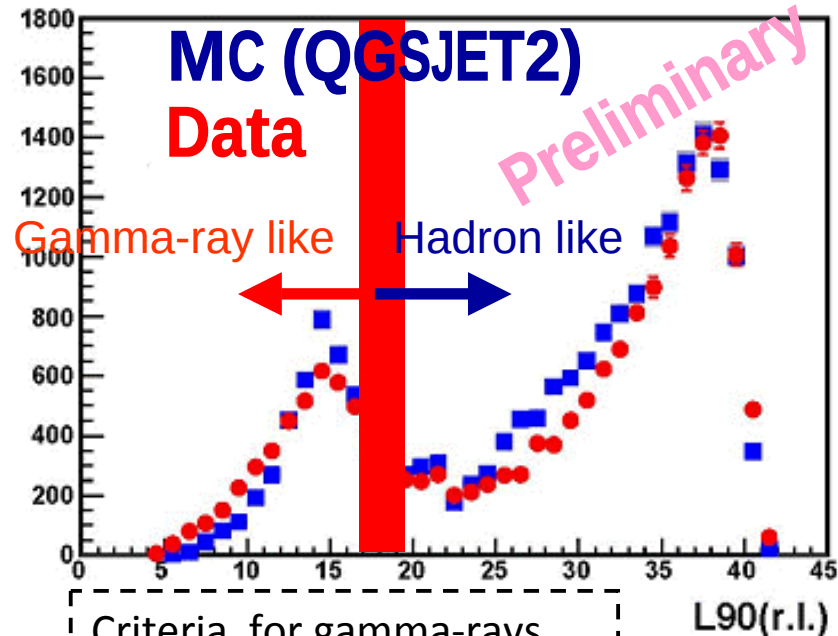
A transition curve for Hadron



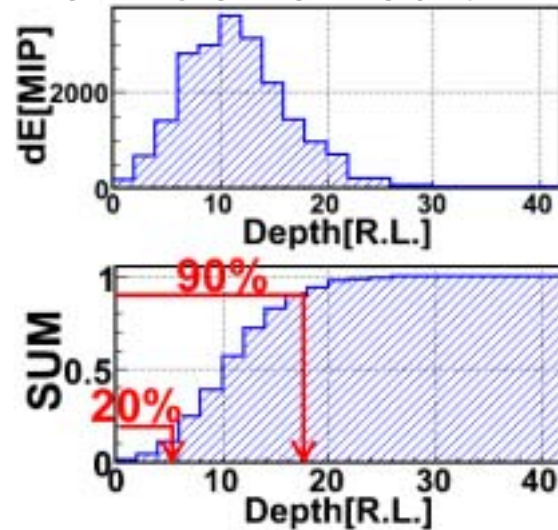
Thin for hadronic interaction (1.7λ)

L90% @ 40mm cal. of Arm1

Definition of L90%

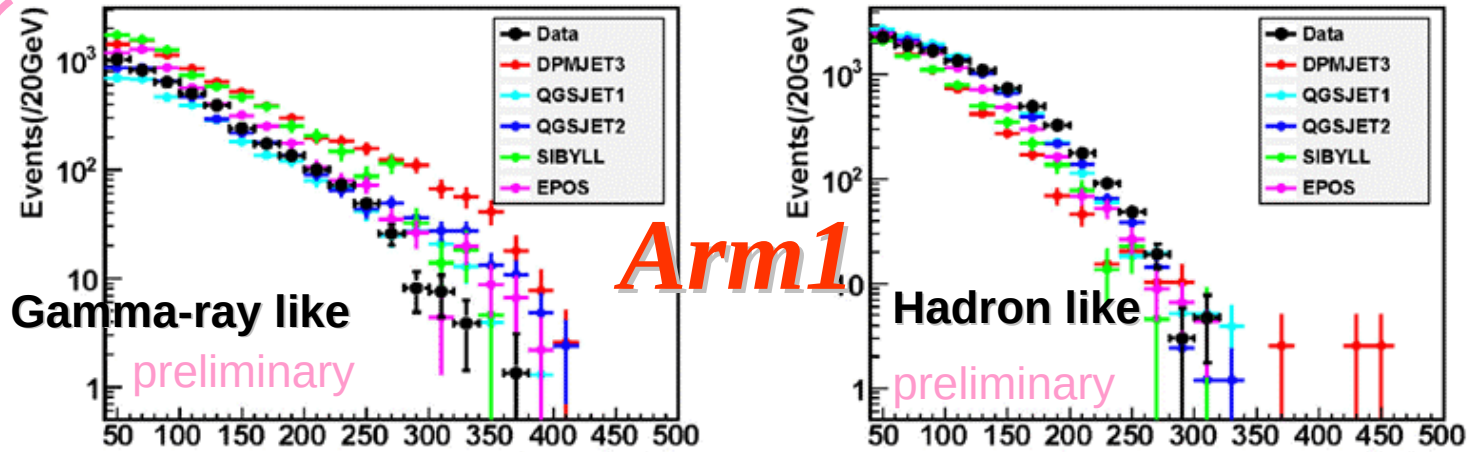


Criteria for gamma-rays
 $16 \text{ r.l.} + 0.002 \times \Sigma dE$

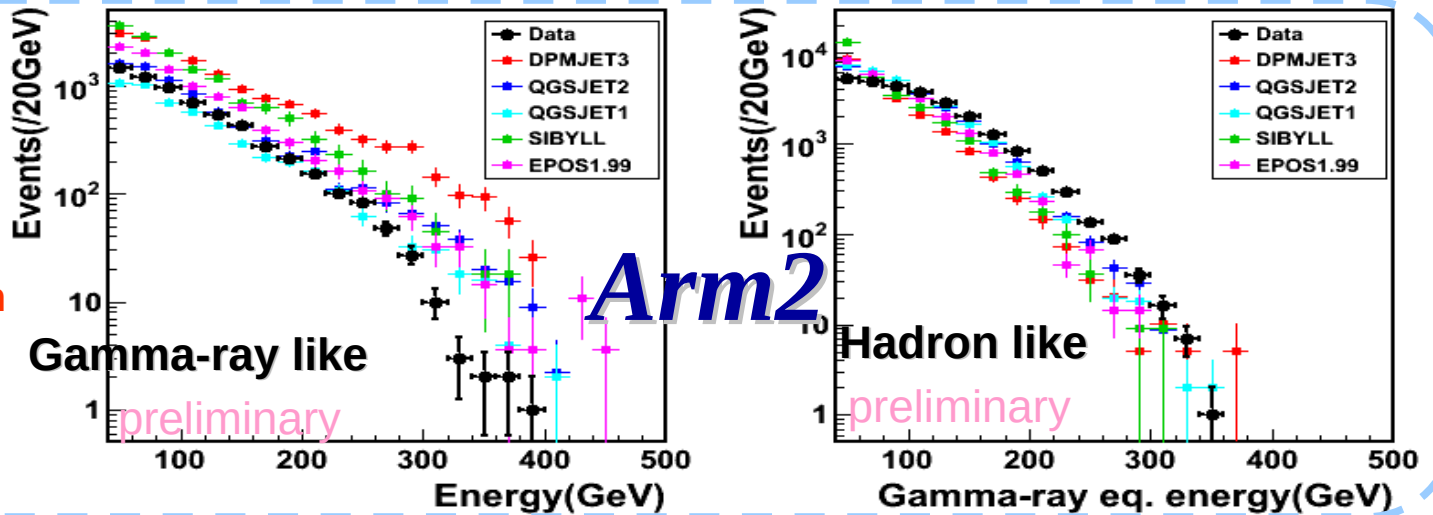


L90% : シャワーエネルギーの90%を含む深さ

Energy Spectra at 900GeV



Only statistical errors are shown

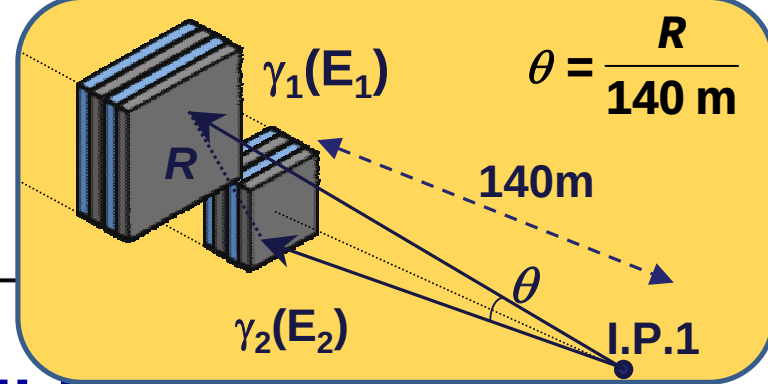
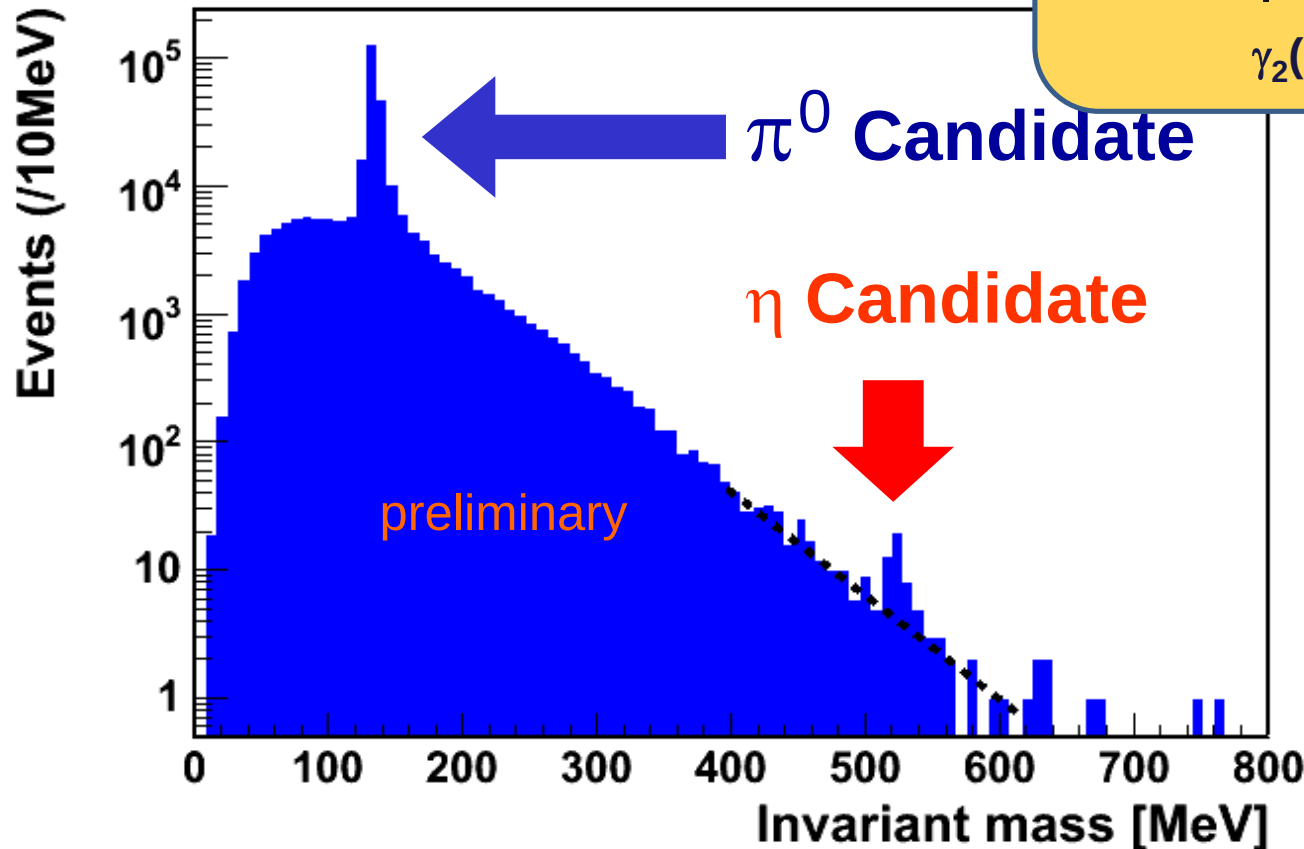


Acceptance is different in two arms

Normalized by number events

Response for hadrons and systematic error are under study.

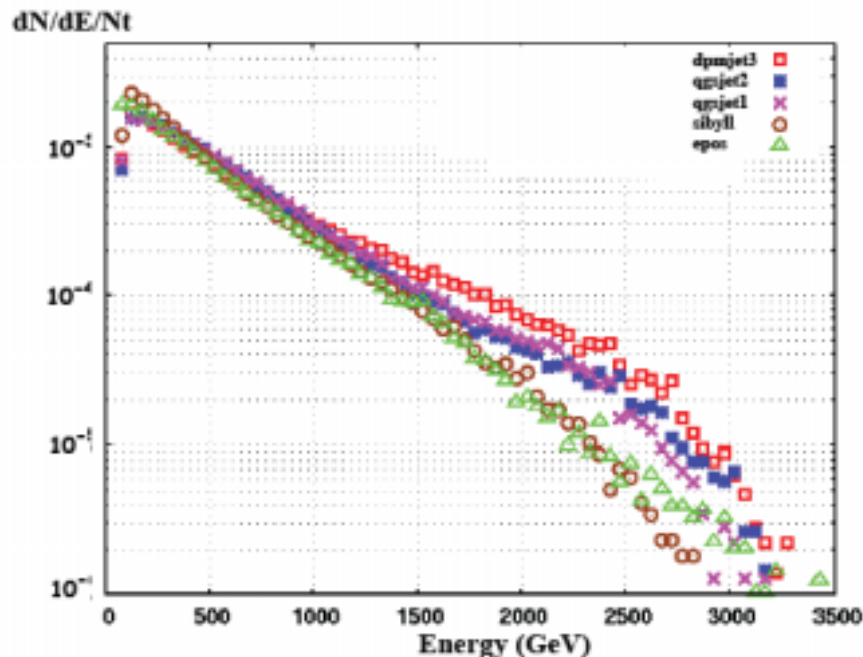
π^0 and η in 7 TeV collisions



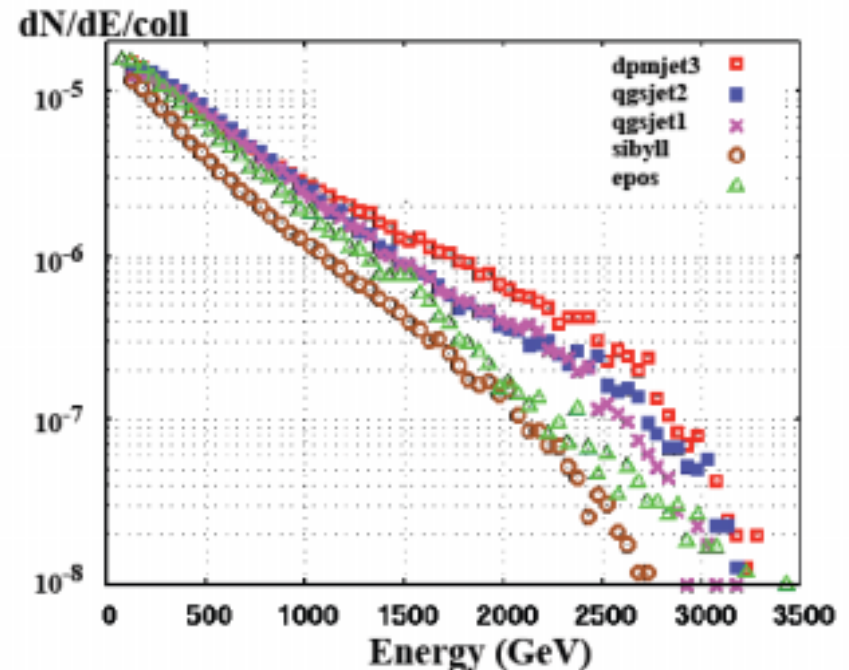
- ・ η / π^0 比は相互作用モデルによって異なる → モデル弁別
- ・ π^0 に加えて η によるエネルギーキャリブレーション

7 TeV single gamma spectra on small tower in Arm1 predicted by various models

area normalization



/collision



まとめ

- 質の高いデータにより, 既存のハドロン相互作用モデルのテストまたは新しいモデルの構築が可能
- LHCf は LHCにおける 900 GeV と 7TeV 衝突実験を完了した。
- 7TeVの解析結果はもう少し・・・。
- 来年1-3月にLHCf-TA joint meeting の予定
- 2-3年後に14TeV衝突が行われる予定で, LHCfは再度アップグレード検出器をインストールする。

Arm#1

END