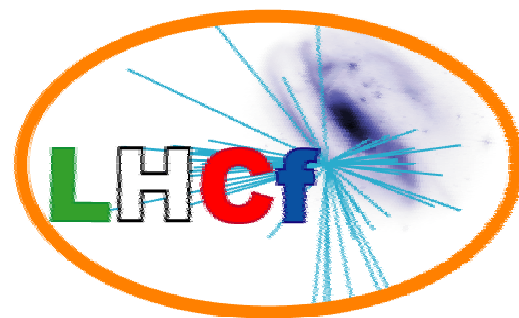


# Knee領域および最高エネルギー領域での 宇宙線反応の実験的研究 (LHCf 実験)

増田公明 (名大STE研)

LHCf collaboration

東大宇宙線研 福島正己 他



2009年12月19日

平成21年度 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表研究会

# H21年度 共同利用研究成果発表研究会

- **共同利用の概要**
  - メンバー, 今年の計画, 予算
- **LHCf 実験の概要**
- **LHCf /LHC**
  - **H20年度までの経過**
  - **H21年の状況**
    - 450 GeV collision
  - **今後の予定**
    - 1.2 TeV, 3.5-5 TeV, 7 TeV, HI, ...

# 共同利用研究課題

- **LHCf 実験** — **LHC加速器の 450 GeV ～ 7 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、ハドロン相互作用モデルの検証を行う。**
- **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21年度共同利用予算

- **旅費 150千円 (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月の LHCf-TA joint meetingで使用予定

# 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, 間瀬剛, 滝和也, 川出健太郎**

**神奈川大学工 田村忠久**

**早稲田大学理工総研**

**鳥居祥二, 笠原克昌, 中井幹夫, 鈴木拓也**

**芝浦工大システム工 吉田健二**

**東大宇宙線研 清水雄輝**

\* 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 (July~) , P. Papini,  
S. Ricciarini, A. Viciani

(Univ. di Catania) A. Tricomi

Spain

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

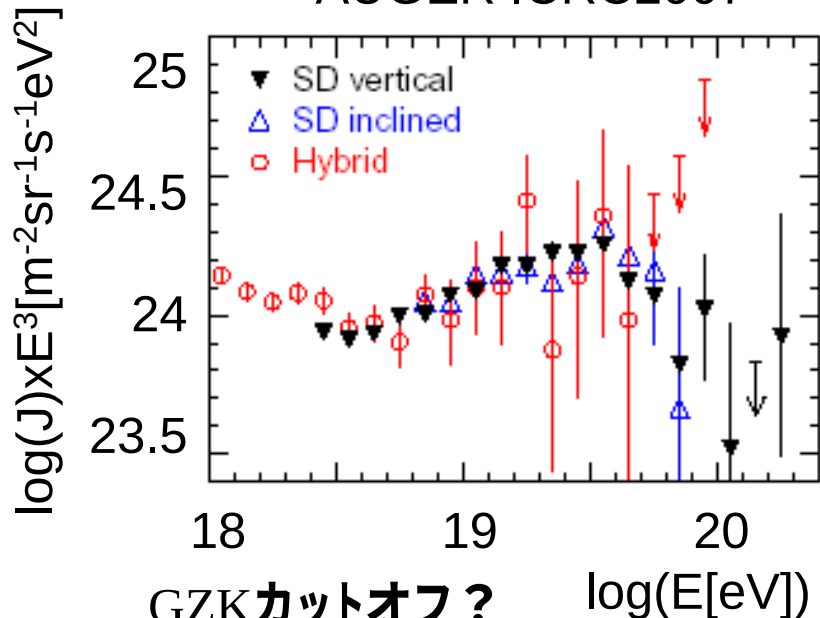
France (Ecole-Polytechnique, Paris) M. Haguenaue

USA (UC Berkeley) W.C. Turner

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

# 超高エネルギー宇宙線 (UHECR)

AUGER ICRC2007

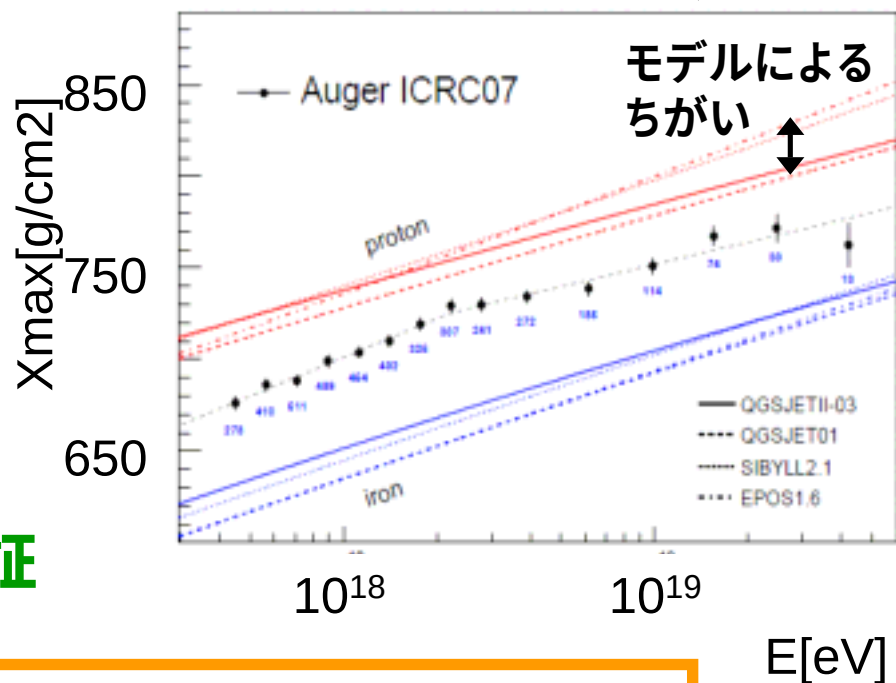


GZKカットオフ?  
エネルギースケール

Augerの観測

$10^{19.5} eV$ でスペクトルの折れ曲がりを観測

## 宇宙線の化学組成

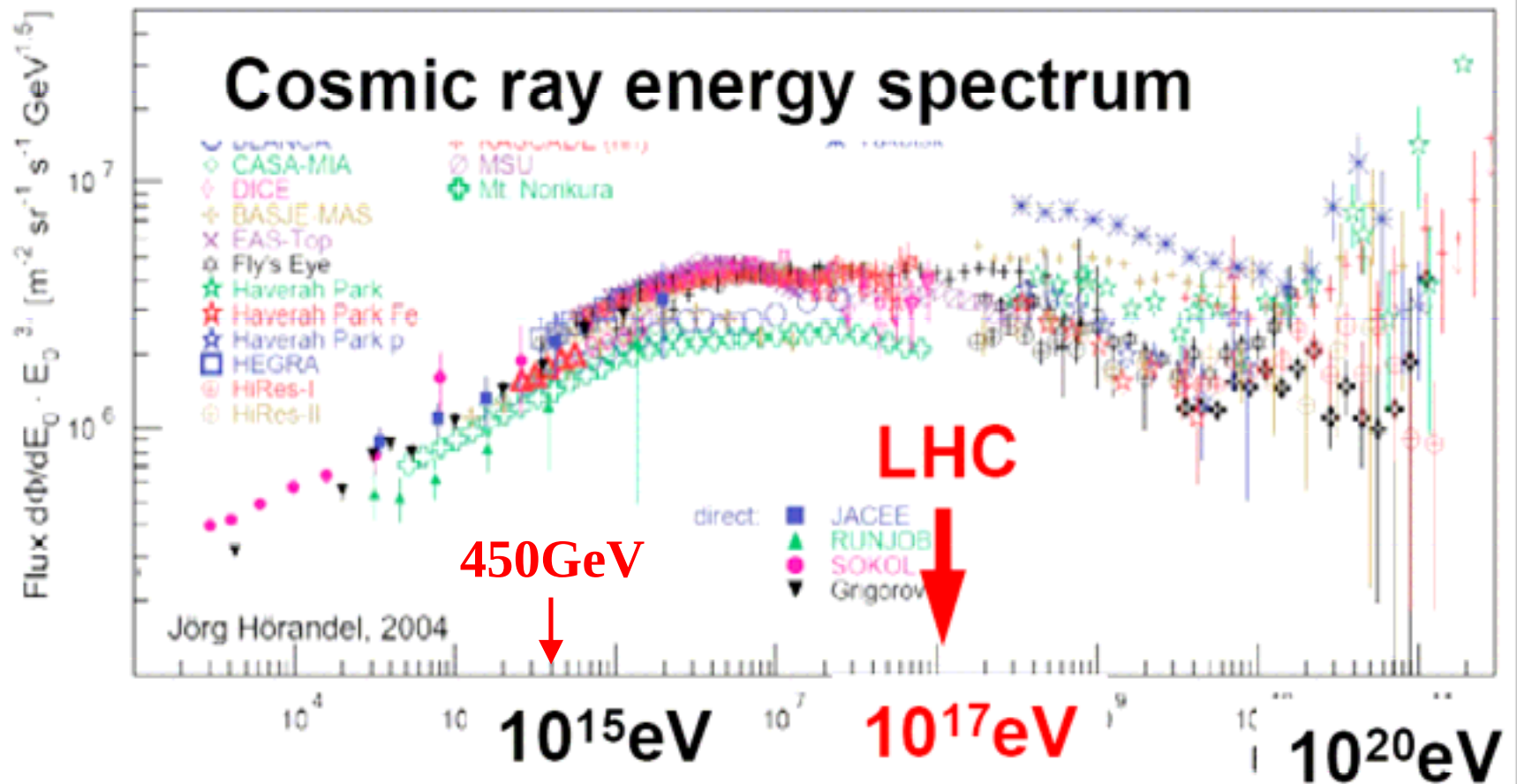


ハドロン相互作用モデルの検証



LHC加速器を用いた最前方粒子測定実験  
LHCf

# LHC 450GeV $\sim$ 7TeV



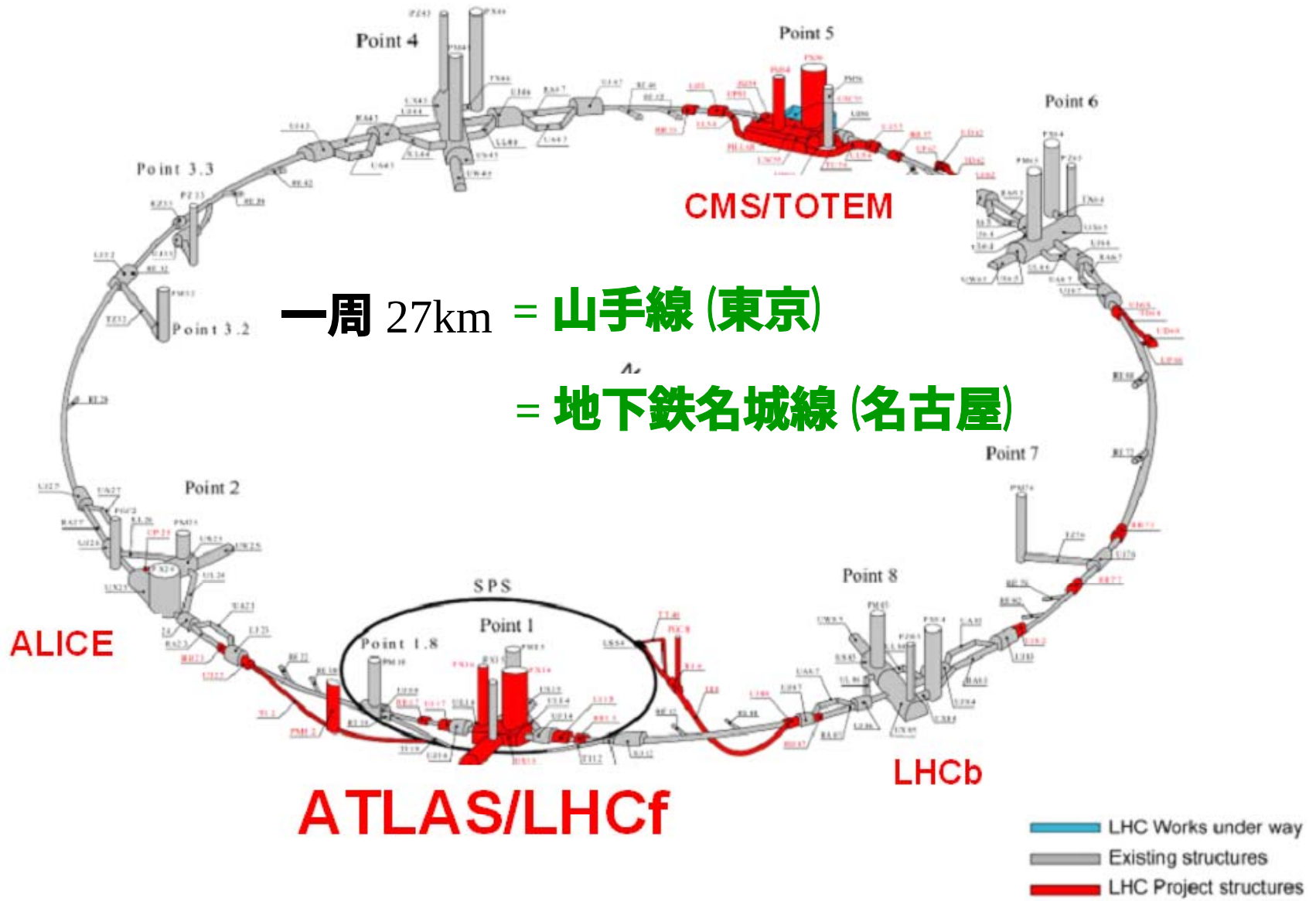


# LHCf 実験の概要

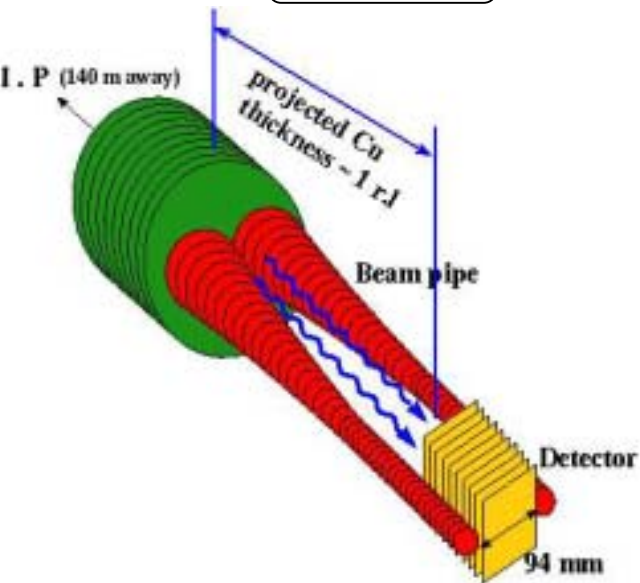
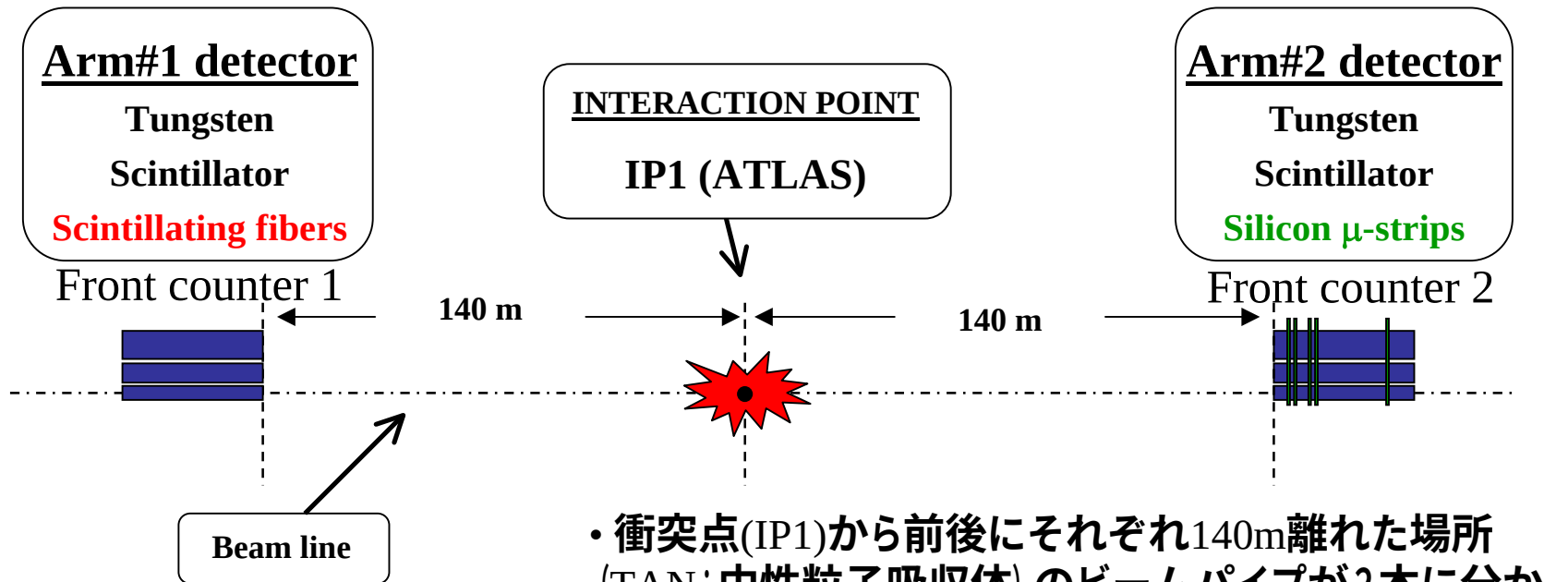
- 加速器実験でハドロン相互作用モデルを検証する
- CERNの最高エネルギー加速器 LHC (Large Hadron Collider) で,  $450\text{GeV} \times 450\text{GeV} \sim 7\text{TeV} \times 7\text{TeV}$  陽子衝突実験を行い, 最前方放出中性粒子を測定する
- 実験室系  $4 \times 10^{14}\text{eV} \sim 1 \times 10^{17}\text{eV}$  の宇宙線反応と等価
- その結果から  $10^{17}\text{eV}$  までのハドロン相互作用モデルを検証し, 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: 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 $0^\circ$  方向) に検出器を設置 ( $\eta=8.4\sim\infty$ )
- 衝突によって生成された最前方中性粒子 ( $\gamma, \pi^0$ , 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  $\gamma$  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)

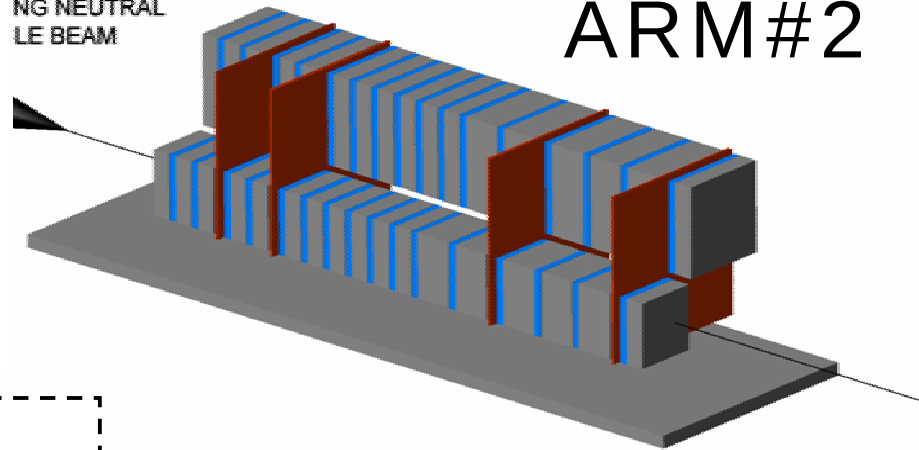
$\sigma_x = 0.05\text{mm}$

- Energy Resolution

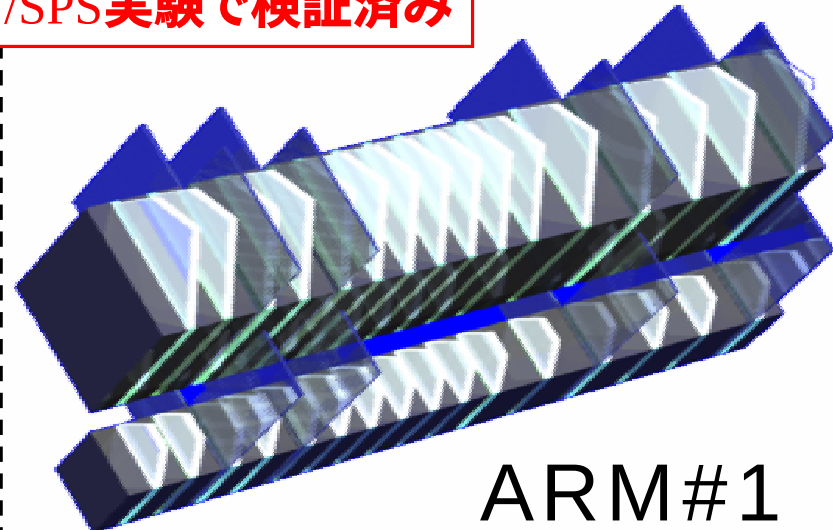
$< 5\%$  (gamma),  $30\%$  (hadron)

NG NEUTRAL  
LE BEAM

ARM#2



CERN/SPS実験で検証済み



ARM#1

Arm#1

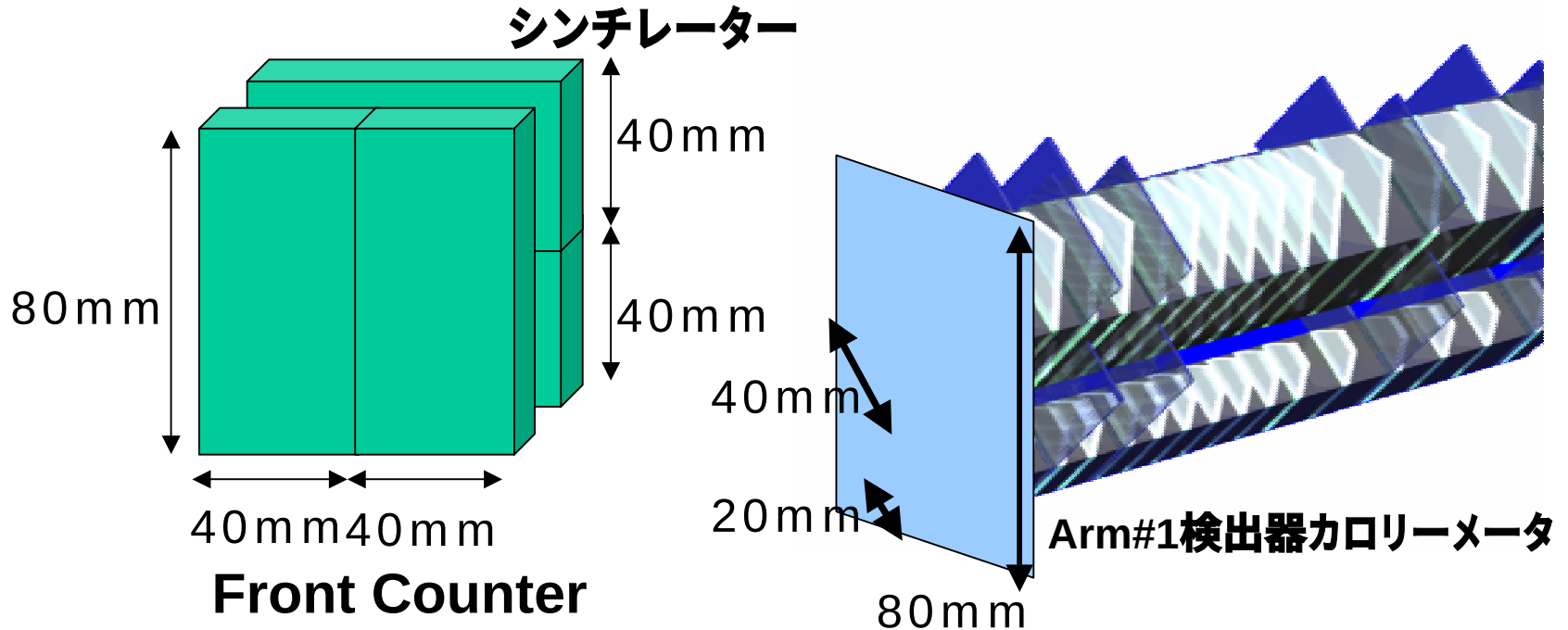


Arm#2



# Front Counter

カロリメータより大きい有効面積を持つシンチレーターで粒子を検出



並んだ二枚を一層として二層構造 (各Arm4ch)

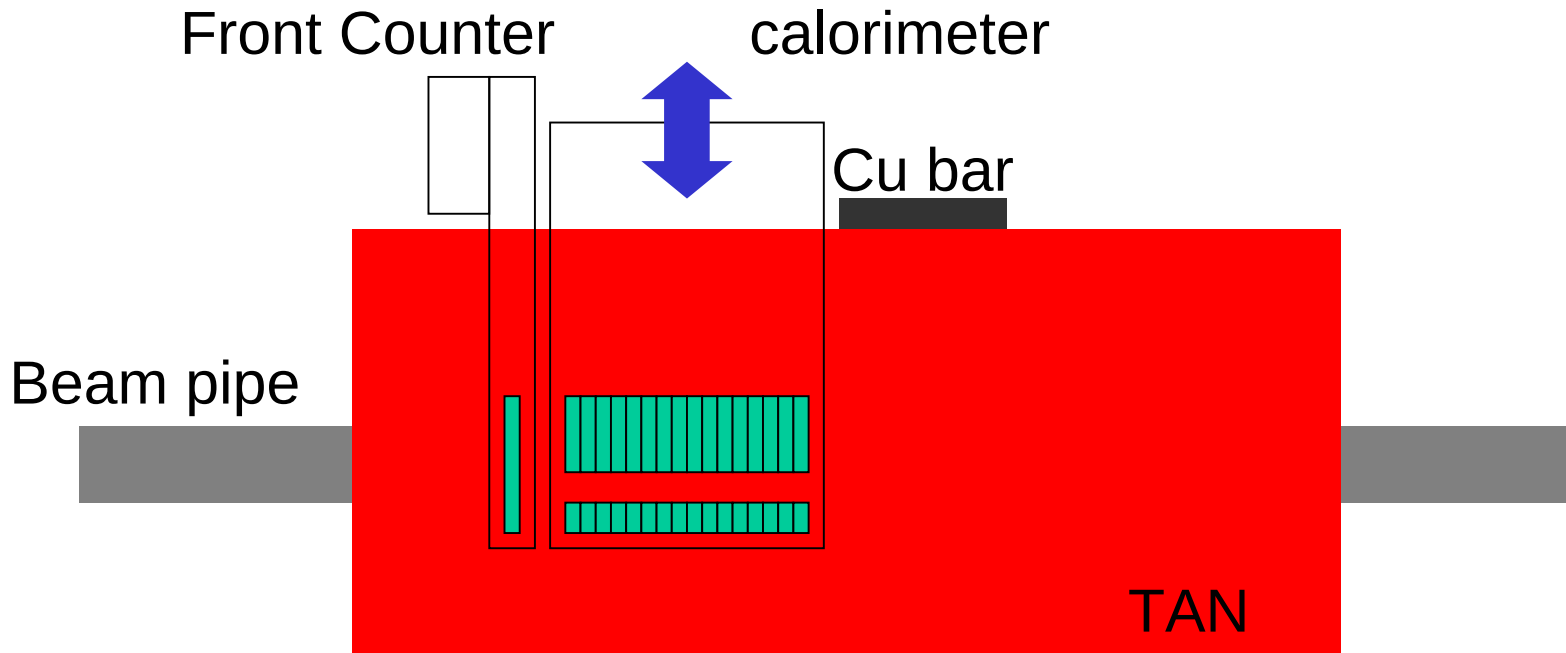
一層目左右2分割 & 二層目上下2分割で位置分解能をもつ

Beam monitor

BG suppression

Arm1は2mm、Arm2は2.5mmの厚み

# Front Counterの利点



- カロリメータと異なり上下に移動しない  
→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

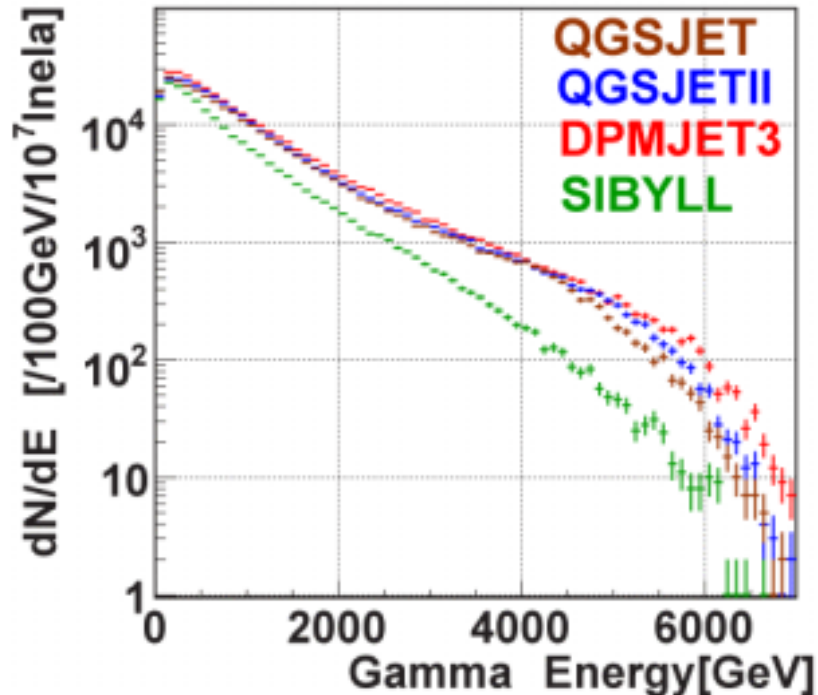


# LHCf 検出器とモデル弁別 (simulation)

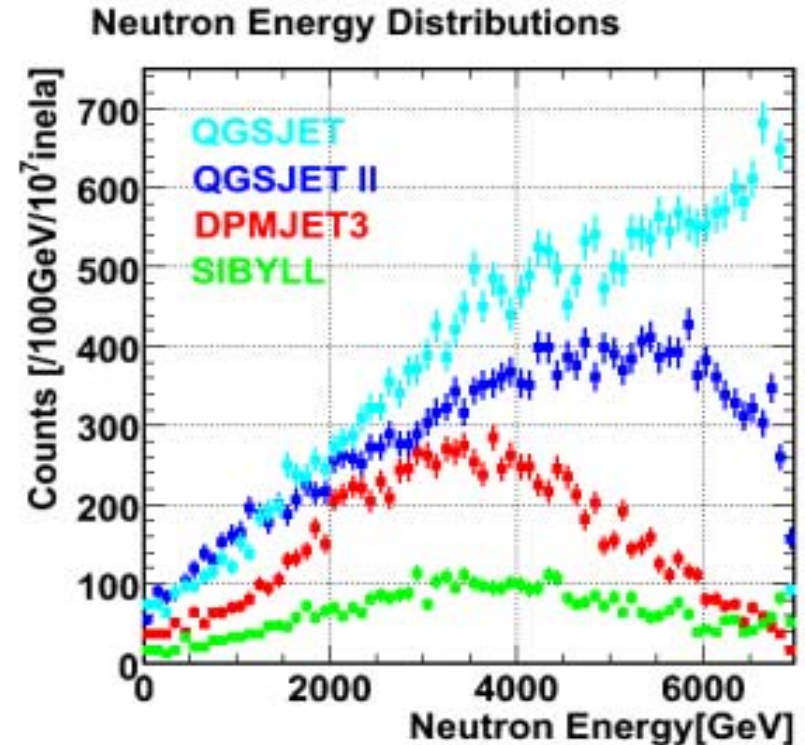
Simulationによる 20mm Calorimeterに入射する粒子のエネルギー分布

For 7 TeV collisions

ガンマ線



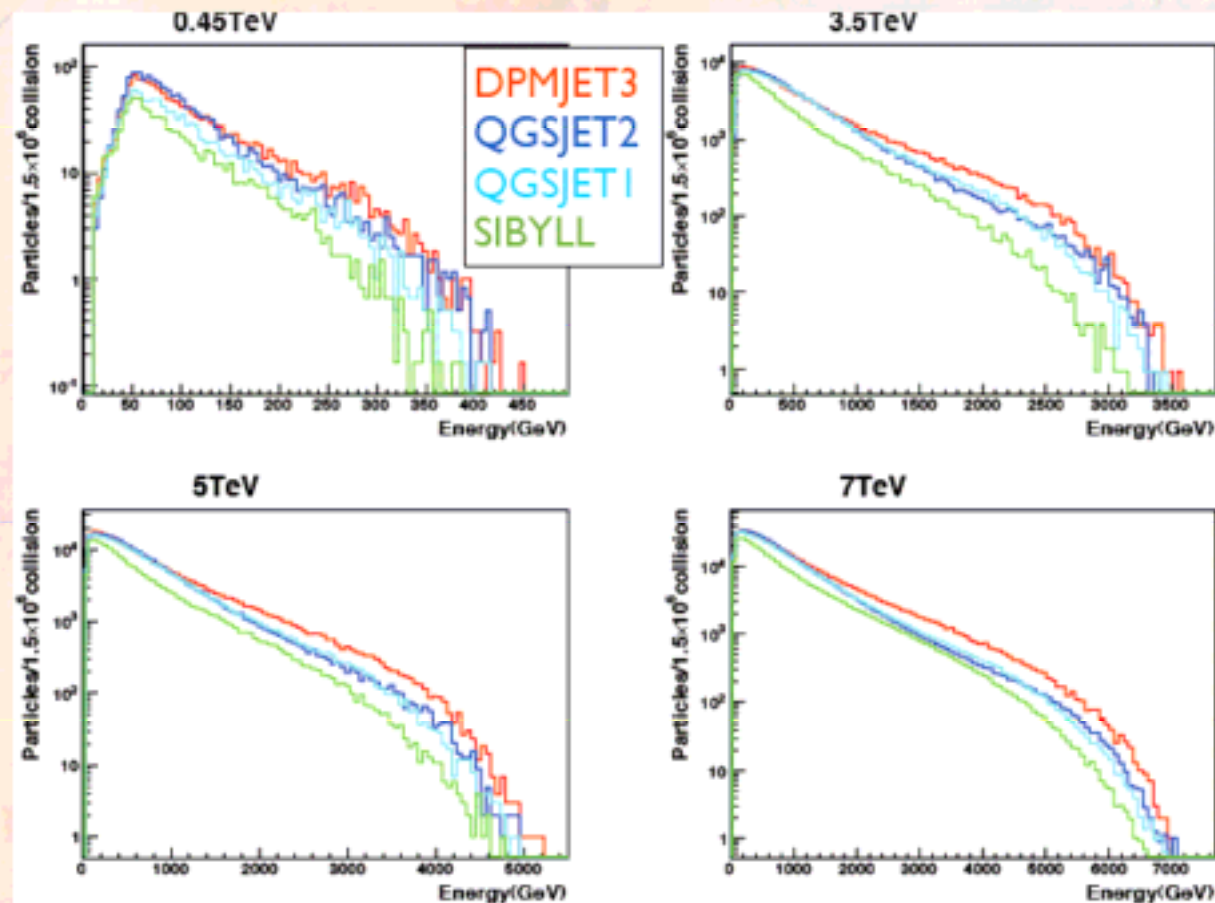
中性子





## シミュレーション

# 電磁成分(ガンマ)



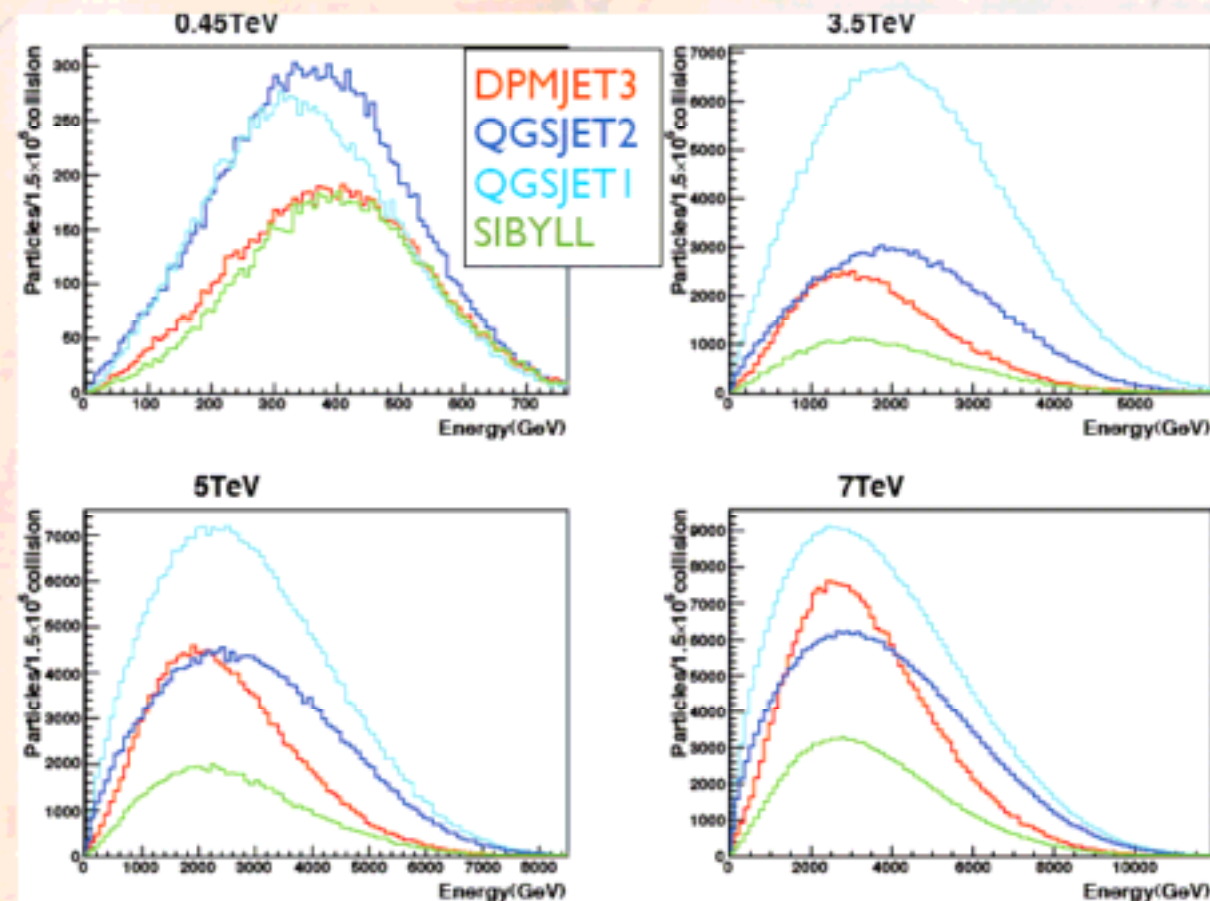
検出器シミュレーションを  
含まず  
⇒エネルギー再構成の不定  
性として5%の揺らぎを考慮

- エネルギースペクトル  
DPMJET3 ⇔ QGSJET2
- 衝突エネルギー毎の傾向  
3.5TeV ⇔ 7TeV

同じモデルでも衝突エネルギーによって傾向が異なる  
⇒より多くの衝突エネルギーでデータを収集する。

## シミュレーション

# ハドロン成分(中性子)



検出器シミュレーションを  
含まず  
⇒エネルギー再構成の不定  
性として30%の揺らぎを考慮

- 衝突あたりの粒子数  
DPMJET3 ⇔ QGSJET1  
⇔ SIBYLL
- エネルギースペクトル  
DPMJET3 ⇔ QGSJET2

Luminosityの情報が正確に分かれれば、イベント数だけでも  
モデル弁別が可能。  $r/n$ 数比を用いればLHCf単独でも可。

# 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 検出器校正 (SPS)
- 2007年 8月 Arm#1/#2 検出器校正 (SPS)
- 2008年 1月 Arm#1/#2 検出器 最終インストール
- 2008年 9月 LHC first beam によるeventを検出  
→ LHCの事故で stop

---

2009年11月 Beam 再開

# LHCの状況

- 2008**年9月** LHC**完成** first beam  
10**日後にマグネット事故, 停止**
- 

- 2009**年10月** LHC**修理完了**
- 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**
  - 11/20 450 GeV beams 1&2
  - 11/23 450 GeV collision  
Beam commissioning
  - 12/6 450 GeV stable beams
  - 12/8 **ビームエネルギー → 1.18 TeV**
  - 12/11-12 450 GeV stable beams, collision data of LHCf
  - 12/14 1.18 TeV collisions
  - 12/16 LHC stop

# LHCf 検出器の状況 (2009年)

2009年 1月以降

## 検出器システムの改良

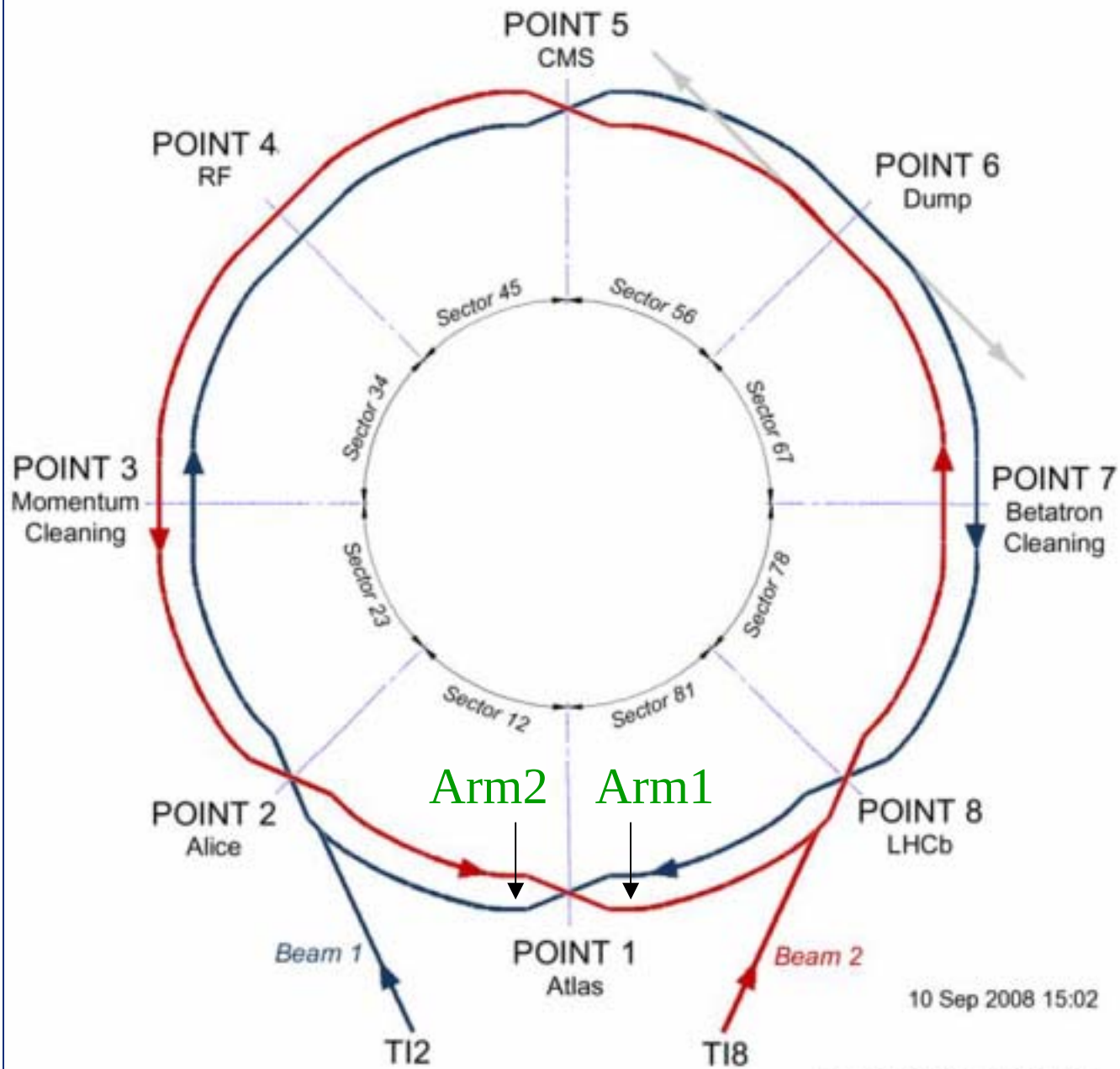
DAQ, Front counter, Laser calibration

## 各エネルギーに対するMC

11月 450 GeV ビーム

12月 450 GeV 衝突 (～6000 シャワーイベント)

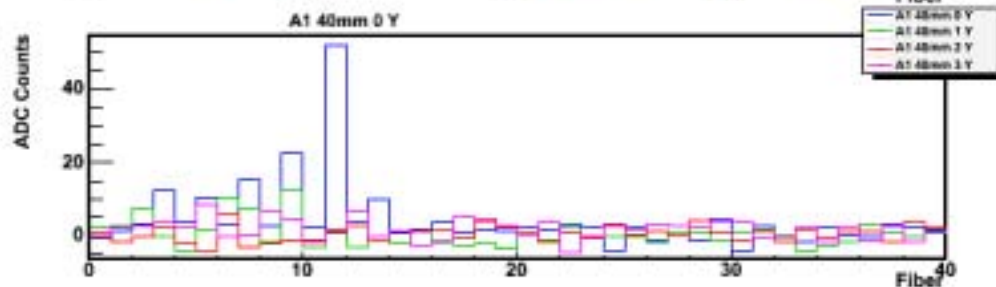
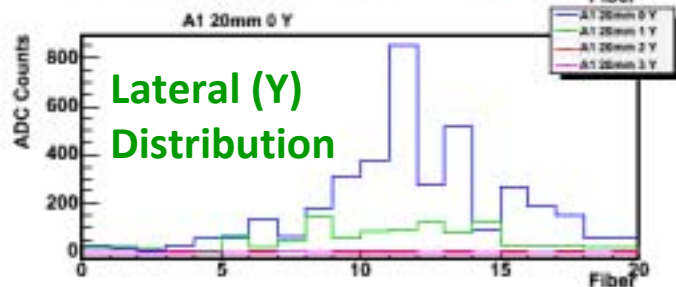
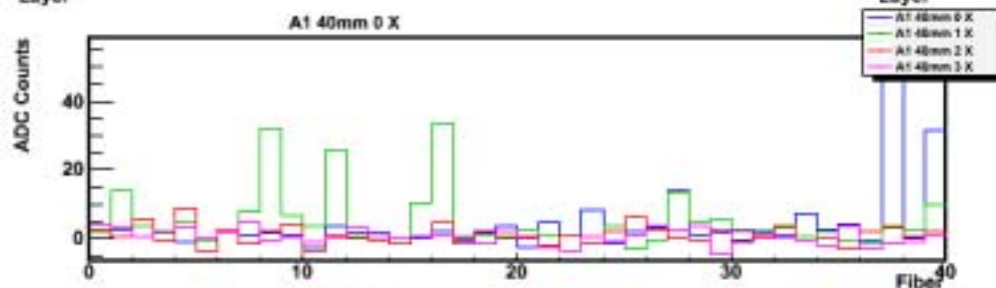
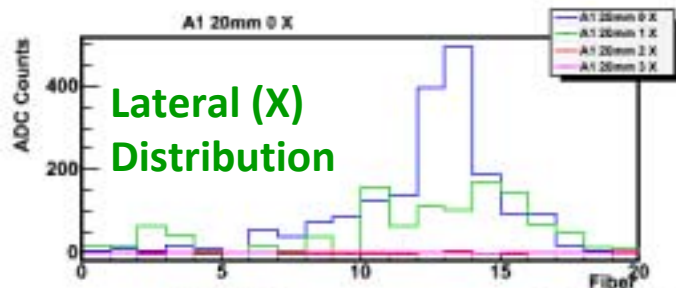
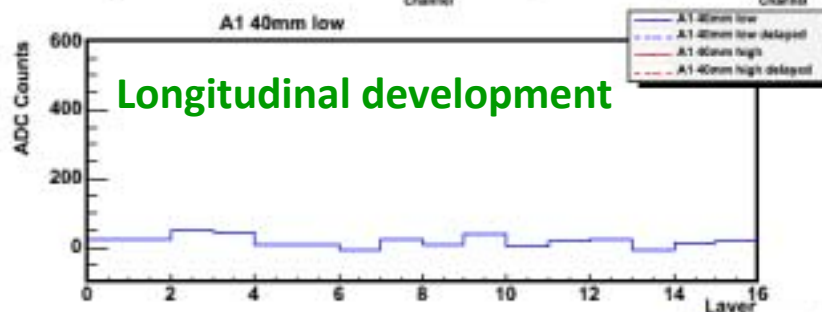
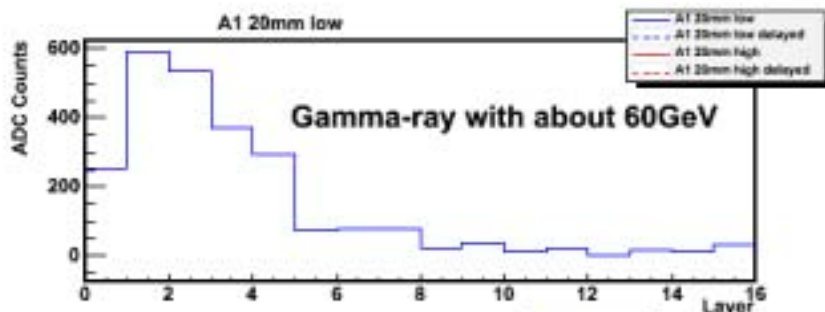
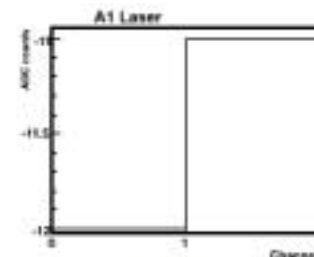
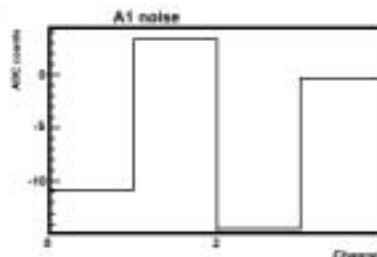
1.18 TeVでは ‘stable beam’ までいかず





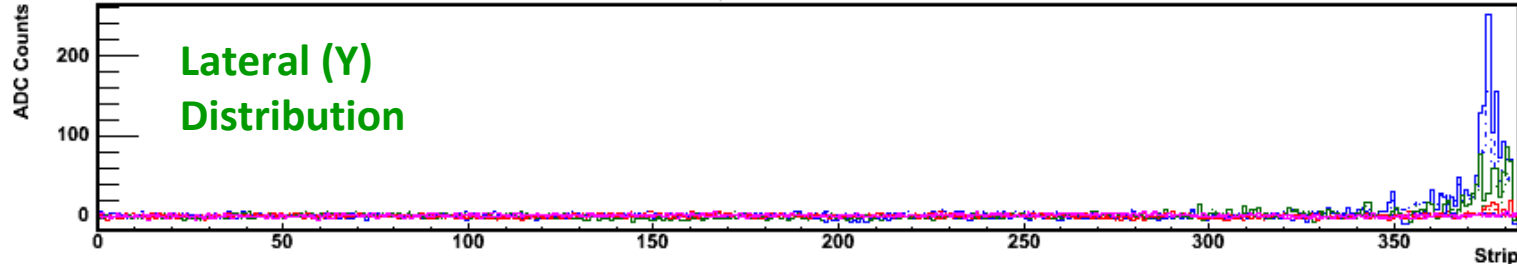
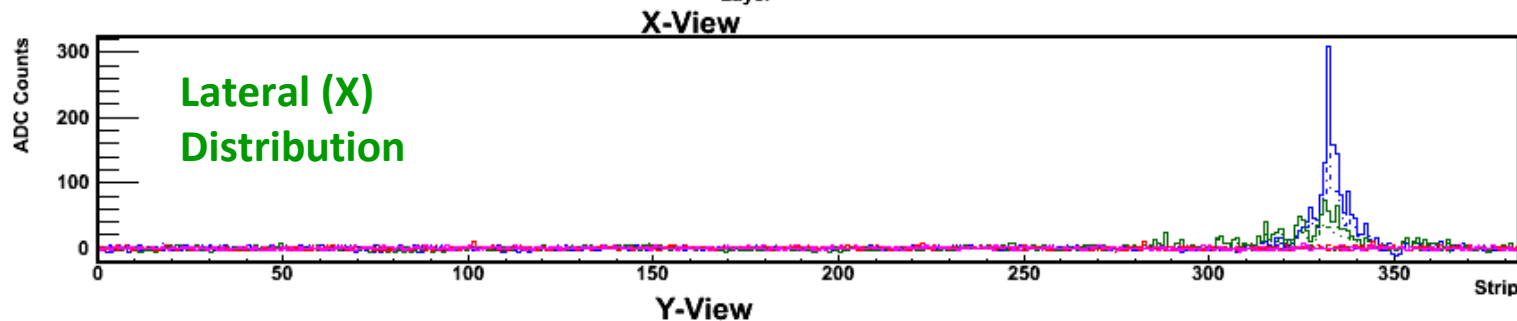
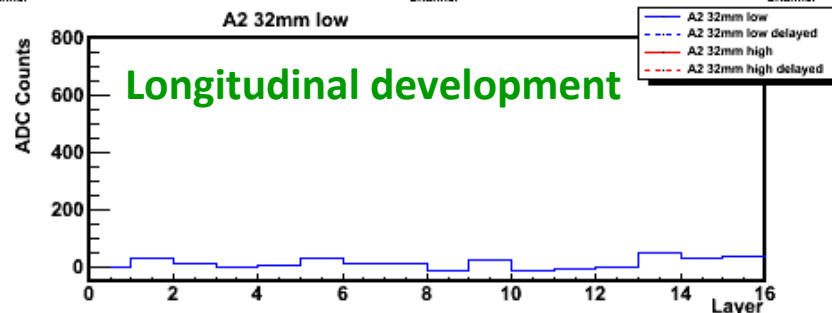
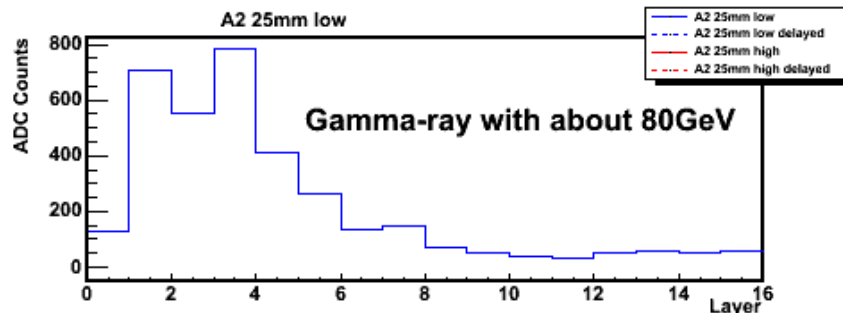
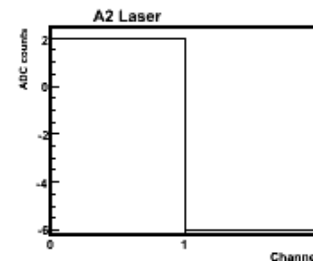
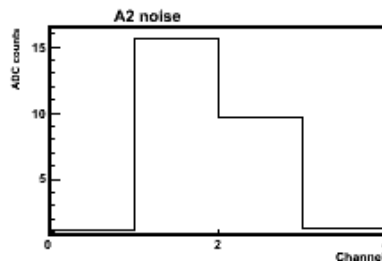
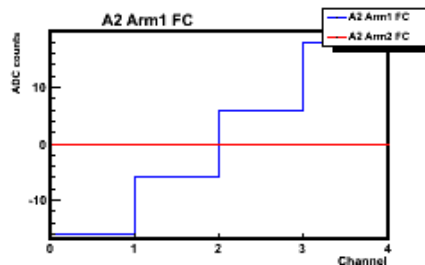
# First collision data of LHCf Arm1

RUN: 2342  
NUMBER: 223  
GNUMBER: 423  
TIME: 1260084266  
FLAG0: 00009557  
FLAG1: 0000007f  
FLAG2: 000f1317



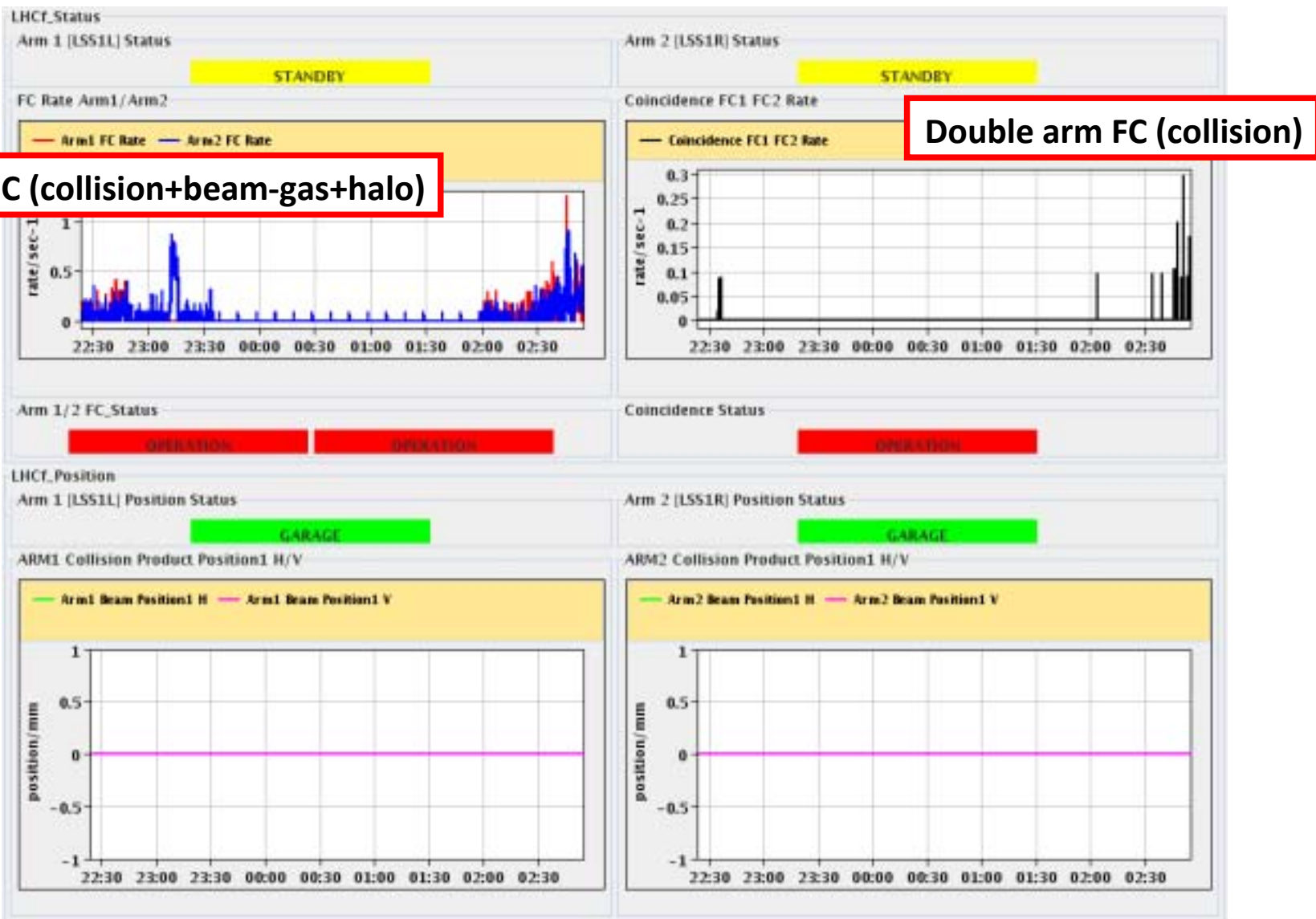
# First collision data of LHCf Arm2

RUN: 2342  
 NUMBER: 506  
 GNUMBER: 1154  
 TIME: 1260085179  
 FLAG0: 00009557  
 FLAG1: 000009ff  
 FLAG2: 00a02371

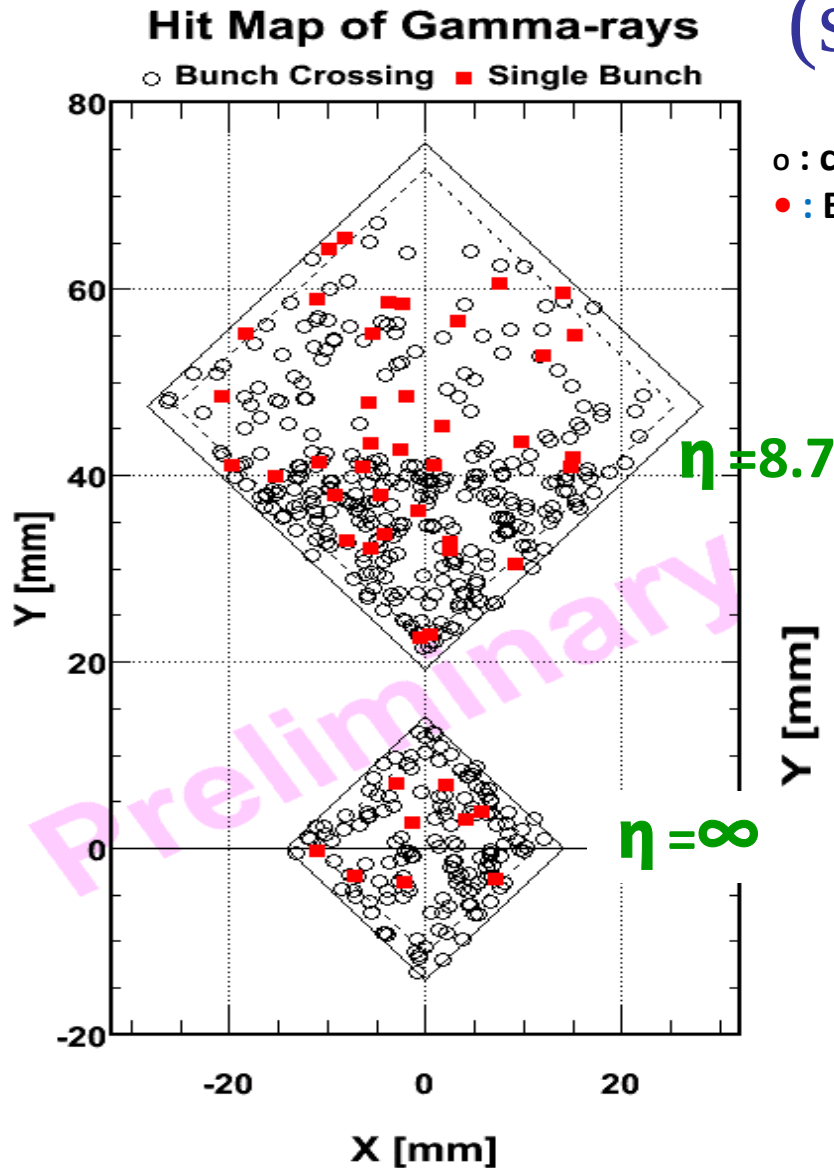




Thanks to Alick and Guy, we provide counting rates on Vistar

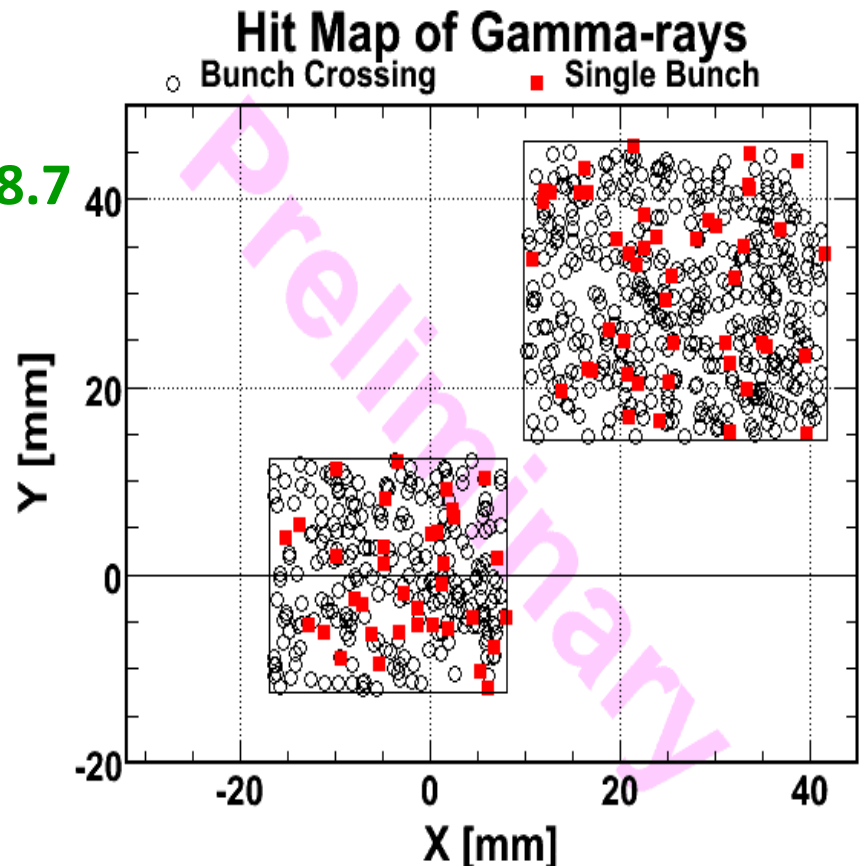


# Hit map of gamma-ray (shadow of beam pipe)

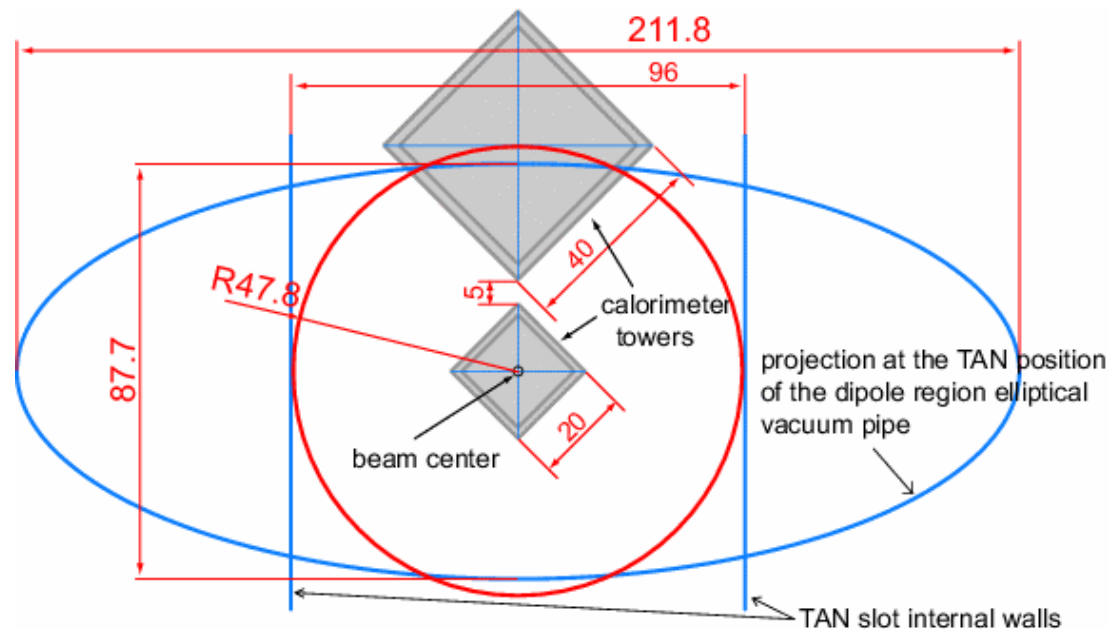
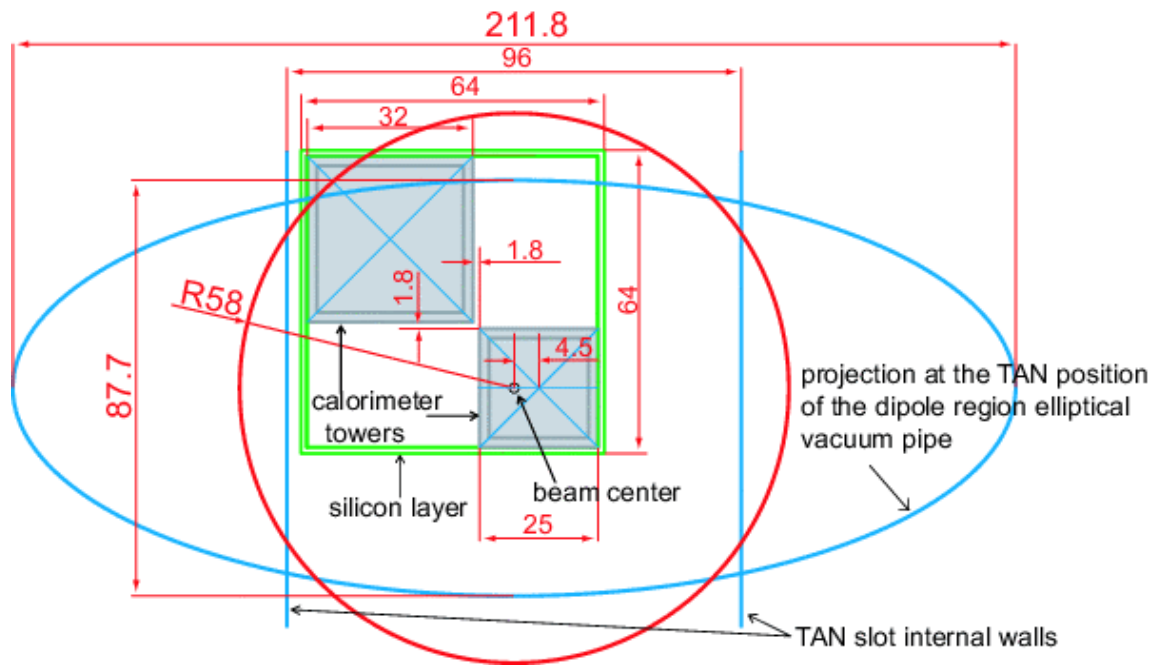


○ : collision + BG  
● : BG only

**Shower Incident position**

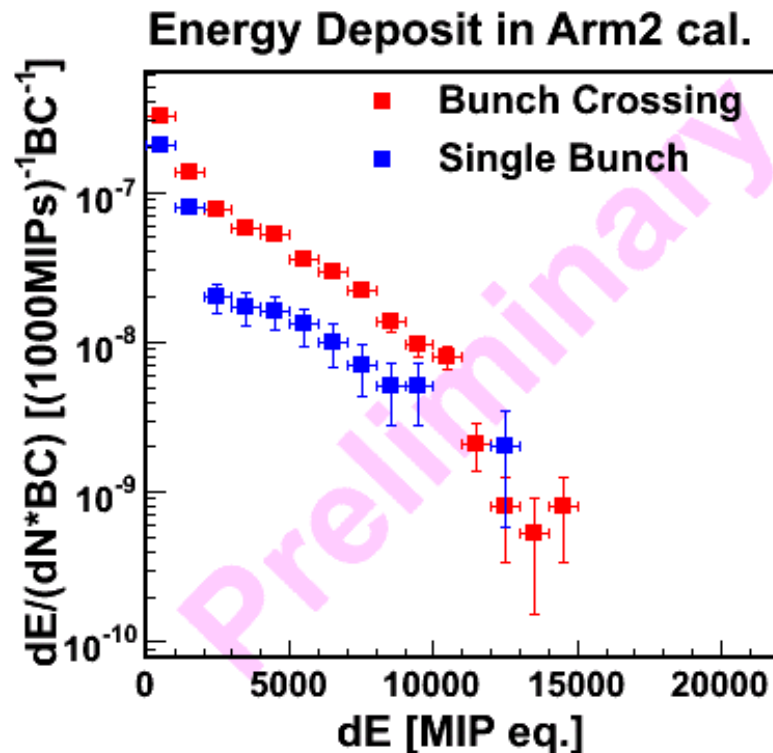
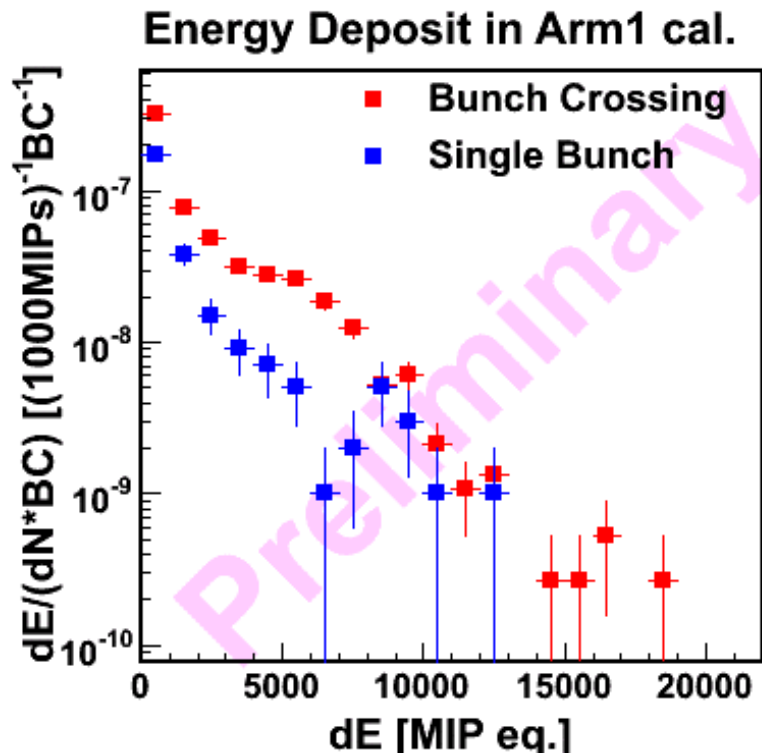


# Aperture



# シャワーエネルギー分布

Energy spectrum  
(to be calibrated to  
incident energy)



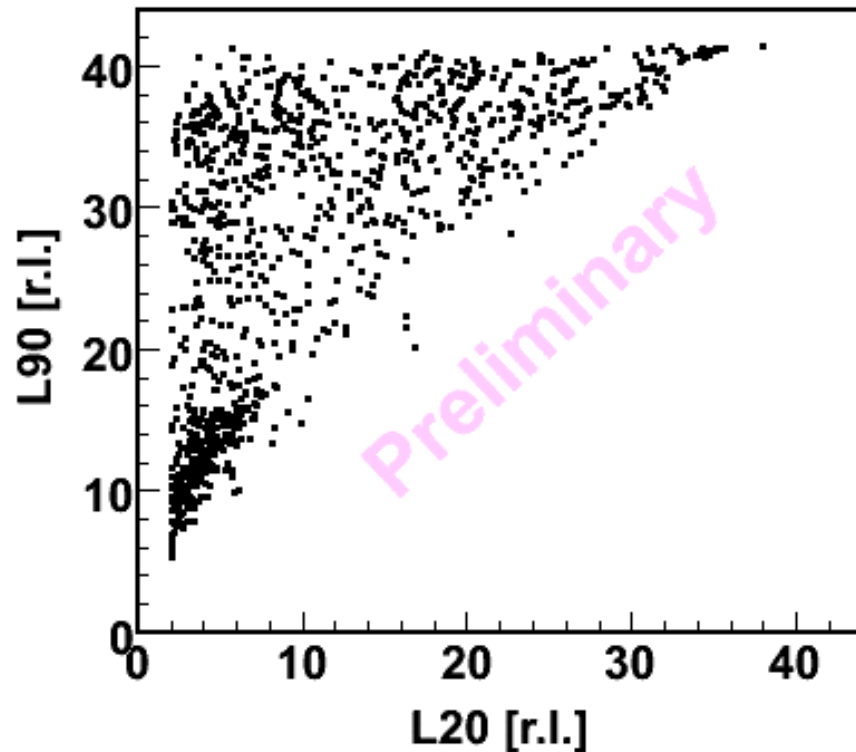
Bunch Crossing  $\rightarrow$  beam-beam, beam-gas, beam halo

Single Bunch  $\rightarrow$  beam-gas, beam halo

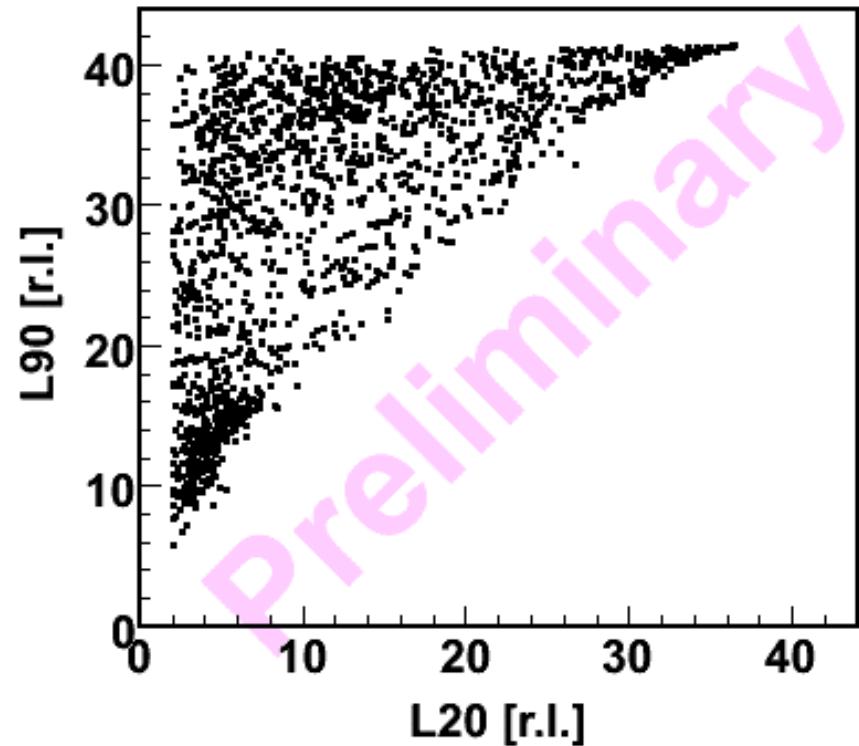
Acceptance  $A_{\text{arm2}} = 1.5 A_{\text{arm1}}$

# Particle ID by shower shape

Particle ID



Particle ID @ 32mm Cal.



# まとめ

**いよいよLHCのビームが出始めた**  
**LHCf 実験は 450 GeVでデータを取得**  
**検討会を1月行う**

**今後の予定 (2010.2.15から再開)**

2010**年前半** 1.2 TeV → 3.5 TeV / 5 TeV (Physics)

2010**年後半** Heavy ion (Pb)

2011**年** 7 TeV

(LHCf: machine commissioning **のビーム強度が弱い** ( $L \sim 10^{29} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ) とき)



Arm#1

*END*

