

国立天文台三鷹キャンパス 2012年2月20日
組織的な若手研究者等海外派遣プログラム
「グローバルな宇宙天文観測」研究報告

テレスコープアレイ(TA)実験

電子加速器による宇宙線望遠鏡の較正

芝田達伸

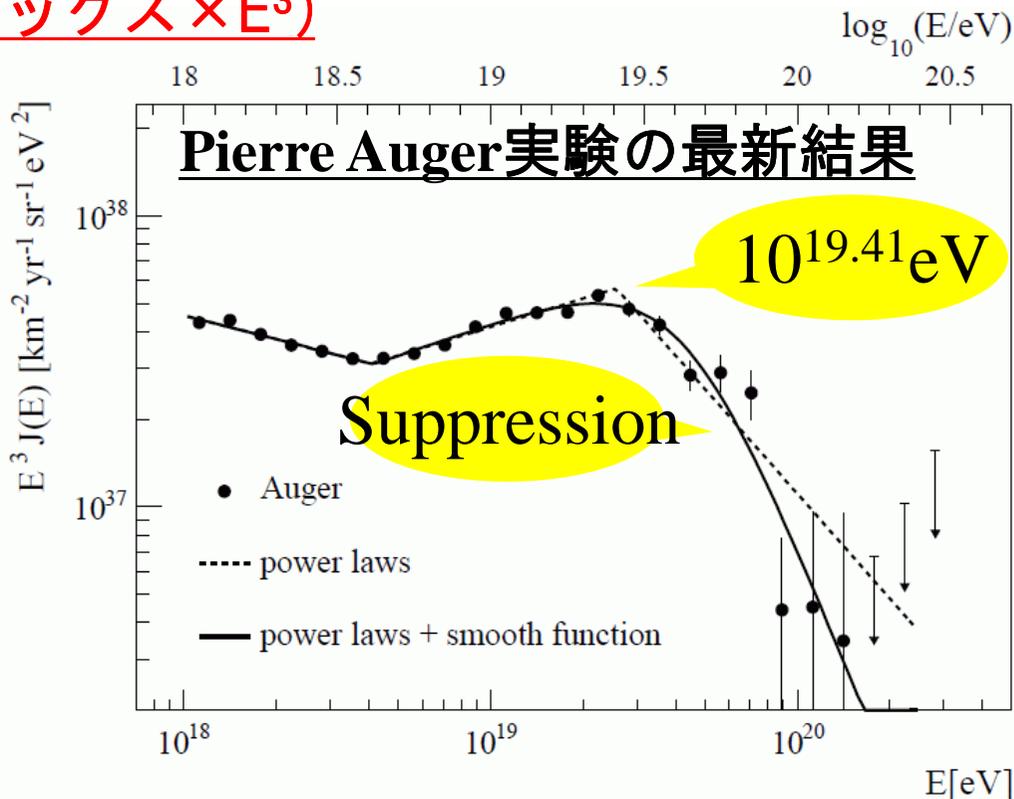
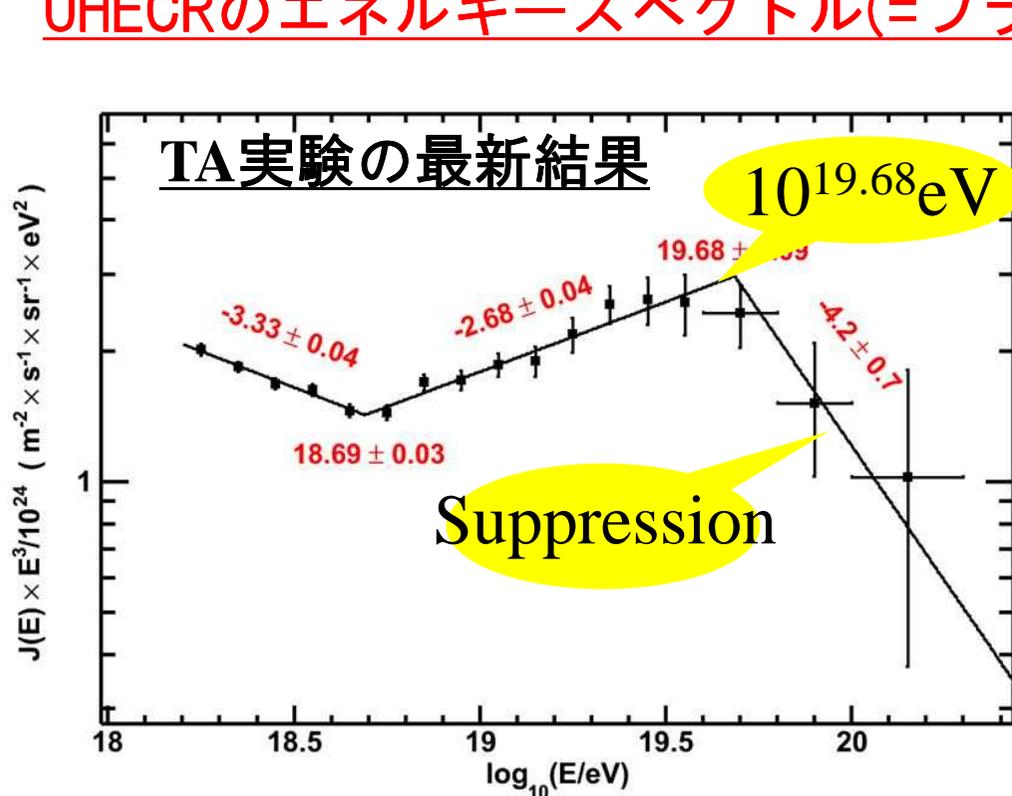
東大宇宙線研究所
2012年2月20日(月)



最近のUHECR観測結果と課題



UHECRのエネルギースペクトル(=フラックス×E³)



UHECR2012でのTA実験の発表より

TA実験では観測方法(検出器の違い)によって
 幾つかのスペクトル結果がある。ここでは
 SDのスペクトルを表示

2011年宇宙線国際会議のPierre Auger実験の
 プロシーディングスより

Astrophysics arXiv:1107.4809

Hybrid events(FD+ ≥ 1 SD) + SD only events

エネルギースペクトルにカットオフ (GZK?) が存在する!!

TA実験, Auger実験 の間で最も大きな問題の一つはエネルギーの不一致

カットオフエネルギーの違いはエネルギー決定精度の問題か?

大気蛍光望遠鏡(FD)を用いた 宇宙線のエネルギー測定の方法と系統誤差



一次宇宙線のエネルギー測定 = 大気蛍光観測方法を用いている

一次宇宙線による空気シャワー

①大気蛍光発光

数十MeV~1GeVの電子によるエネルギー損失量から蛍光発生数

系統誤差=11%

②大気透明度 蛍光の散乱

系統誤差=11%

③大気蛍光望遠鏡 蛍光数からADC値

系統誤差=10%

系統誤差が大きい原因は絶対エネルギー較正源がないため

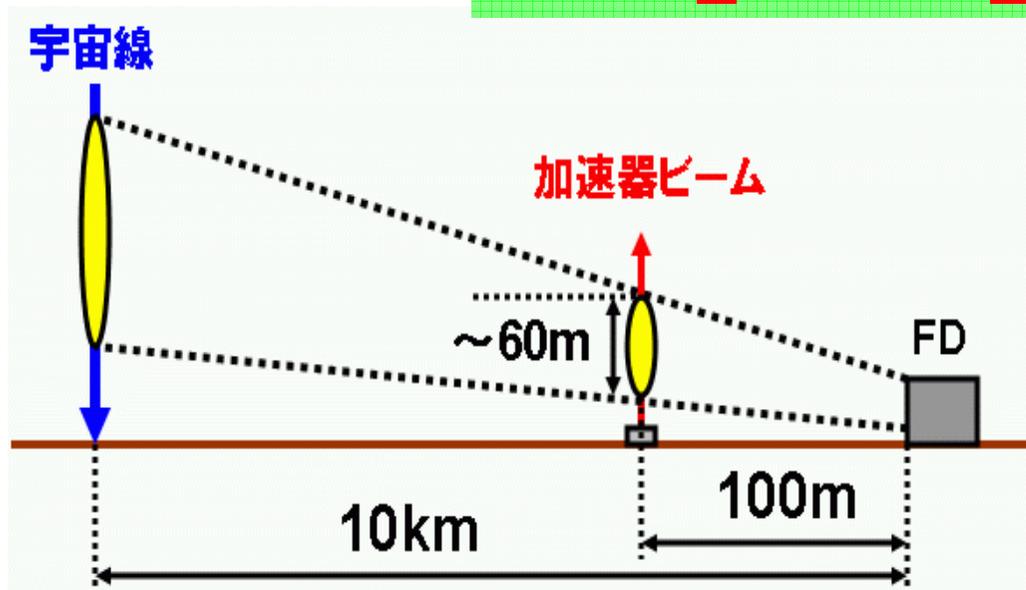
Electron Light Source (ELS)



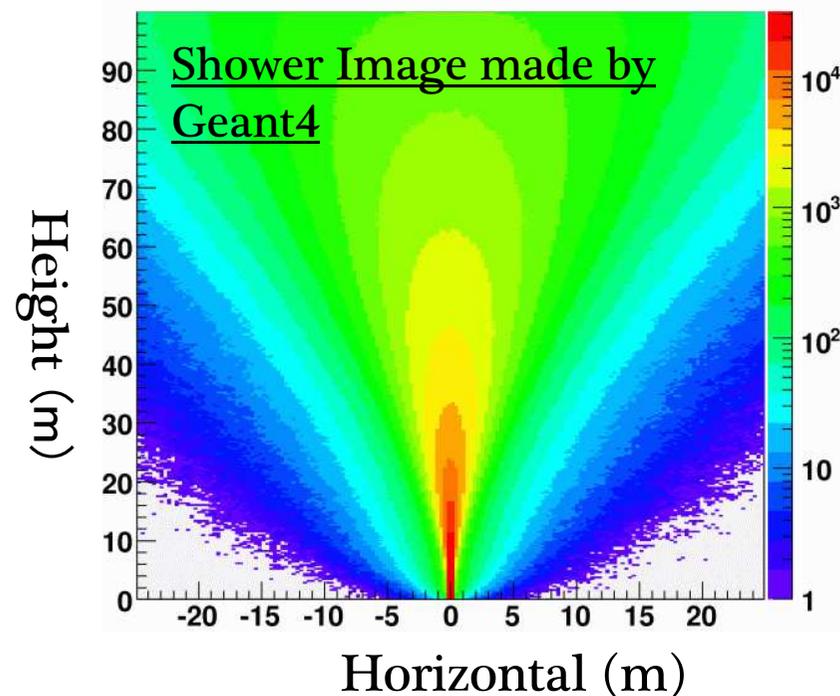
TA実験では新しい方法でエネルギー スケール決定する

= FDの近くに設置した加速電子ビームをFDで観測する

ELS = Electron Light Source



望遠鏡から100mの距離に設置する



電子ビームの空気中での相互作用から望遠鏡による観測量までの全プロセスが再現できる = エネルギー測定に必要な較正定数の一括較正

ELSは世界で唯一の宇宙線望遠鏡用絶対エネルギー較正源

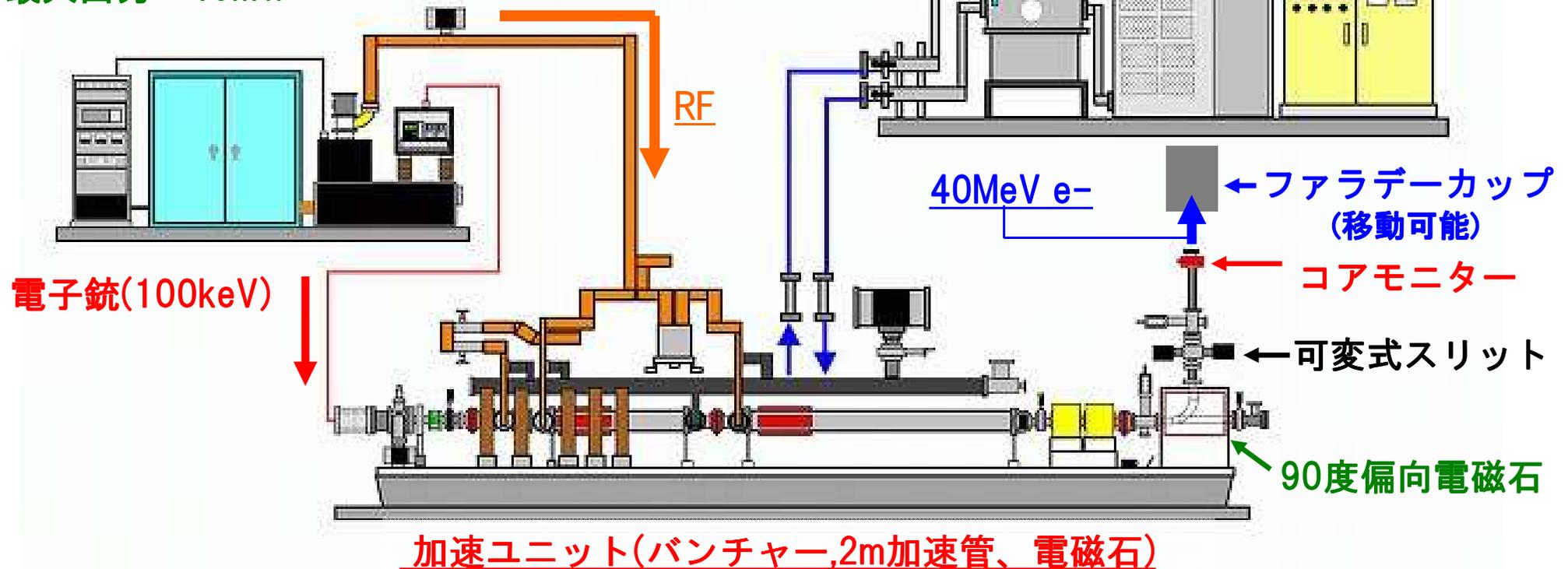
ELSのデザイン



定格出力 : $40\text{MeV}(\text{可変}) \times 10^9\text{e}^-/\text{pulse}(\text{可変}) \times 0.5\text{Hz}(\text{最大}1\text{Hz}) = 3.2\text{mW}$
定格パルス幅 : $1\ \mu\text{sec}$

高周波(RF)システム
周波数=2856MHz
最大出力~40MW

20kW冷却水ユニット

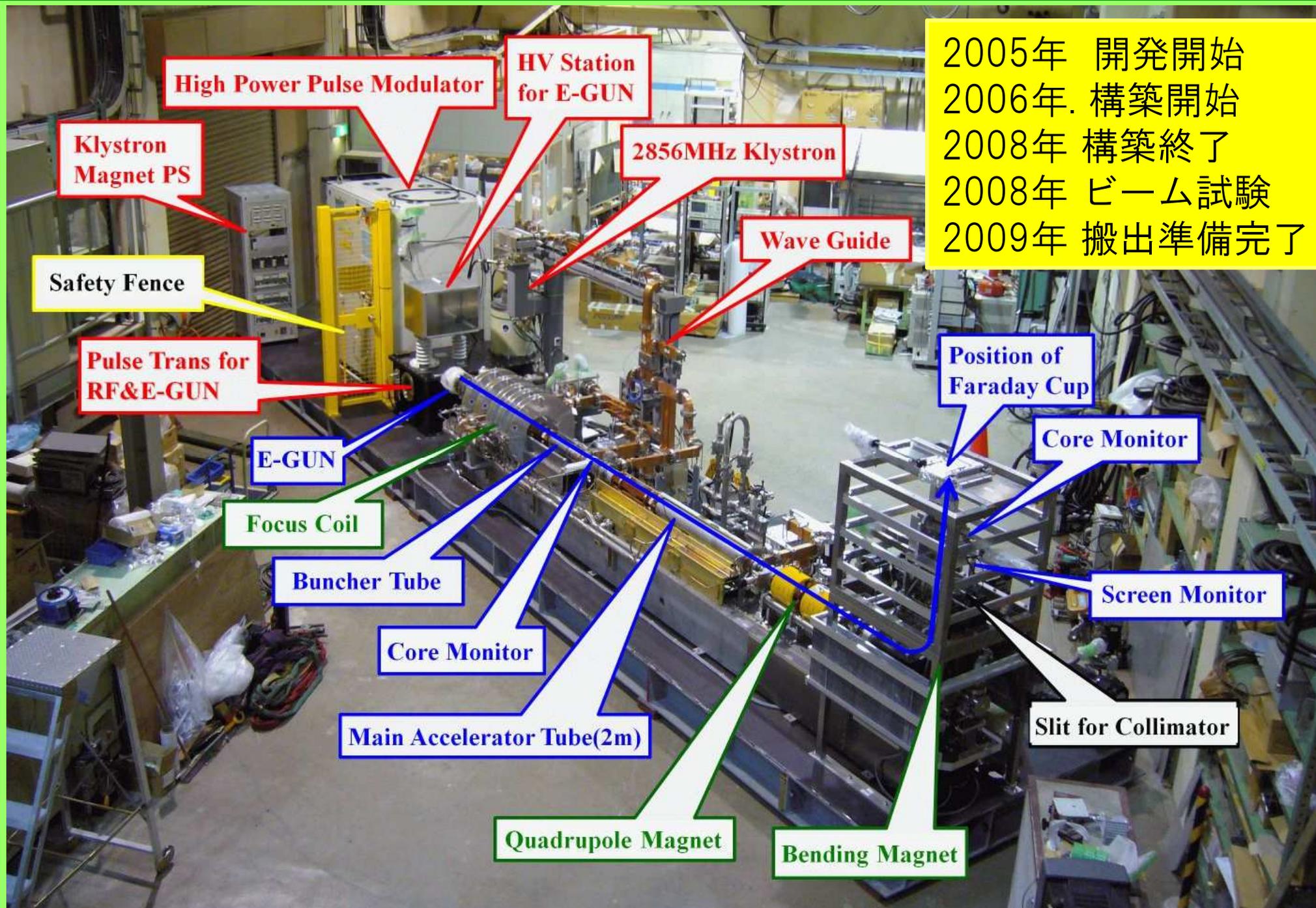


ビーム電荷量とエネルギーの測定

エネルギー=90度偏向電磁石の磁場

ビーム電荷値=ファラデーカップで測定

ELSの開発@KEK

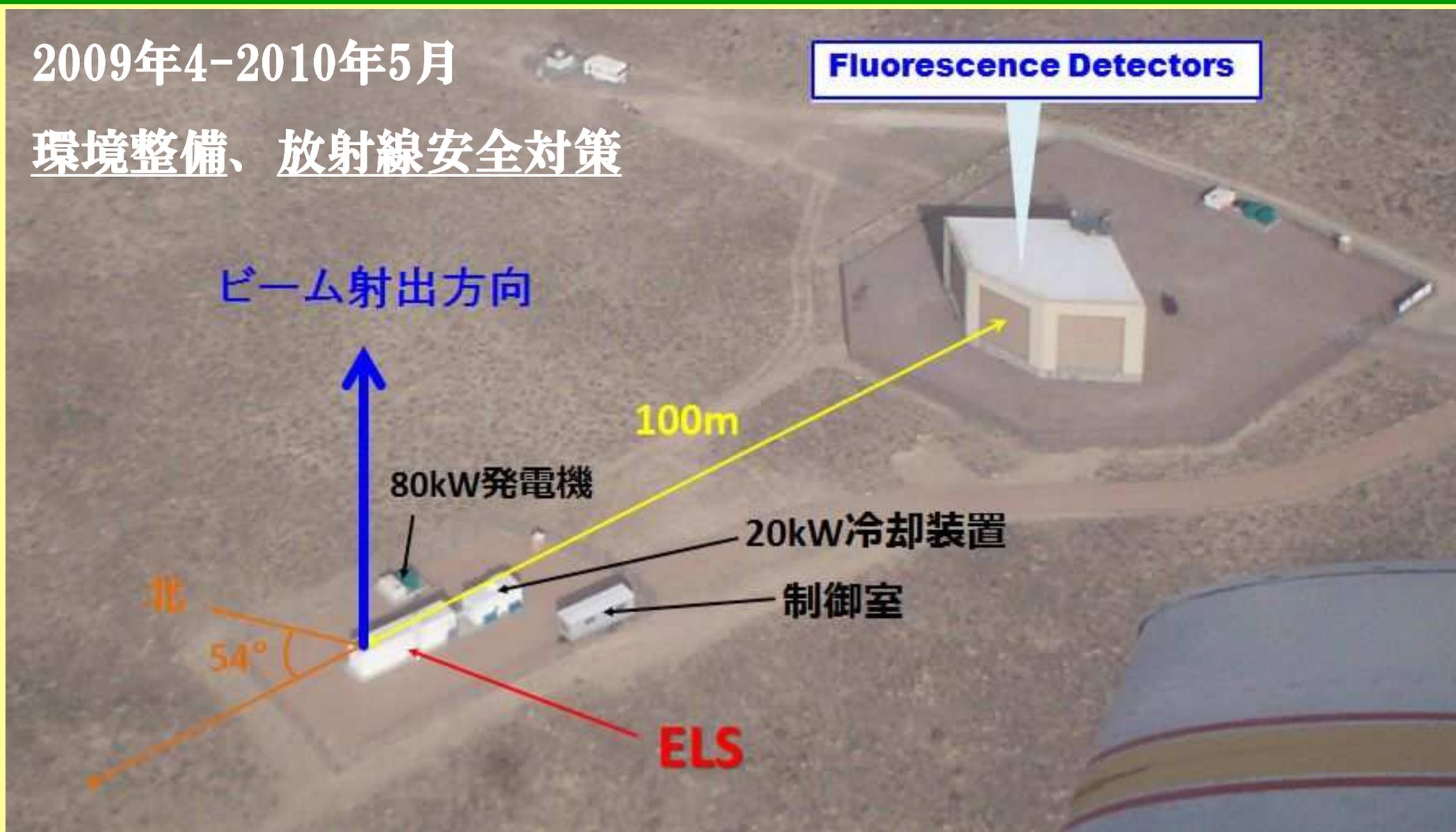


アメリカ・ユタ州でのELS運転



2009年4-2010年5月

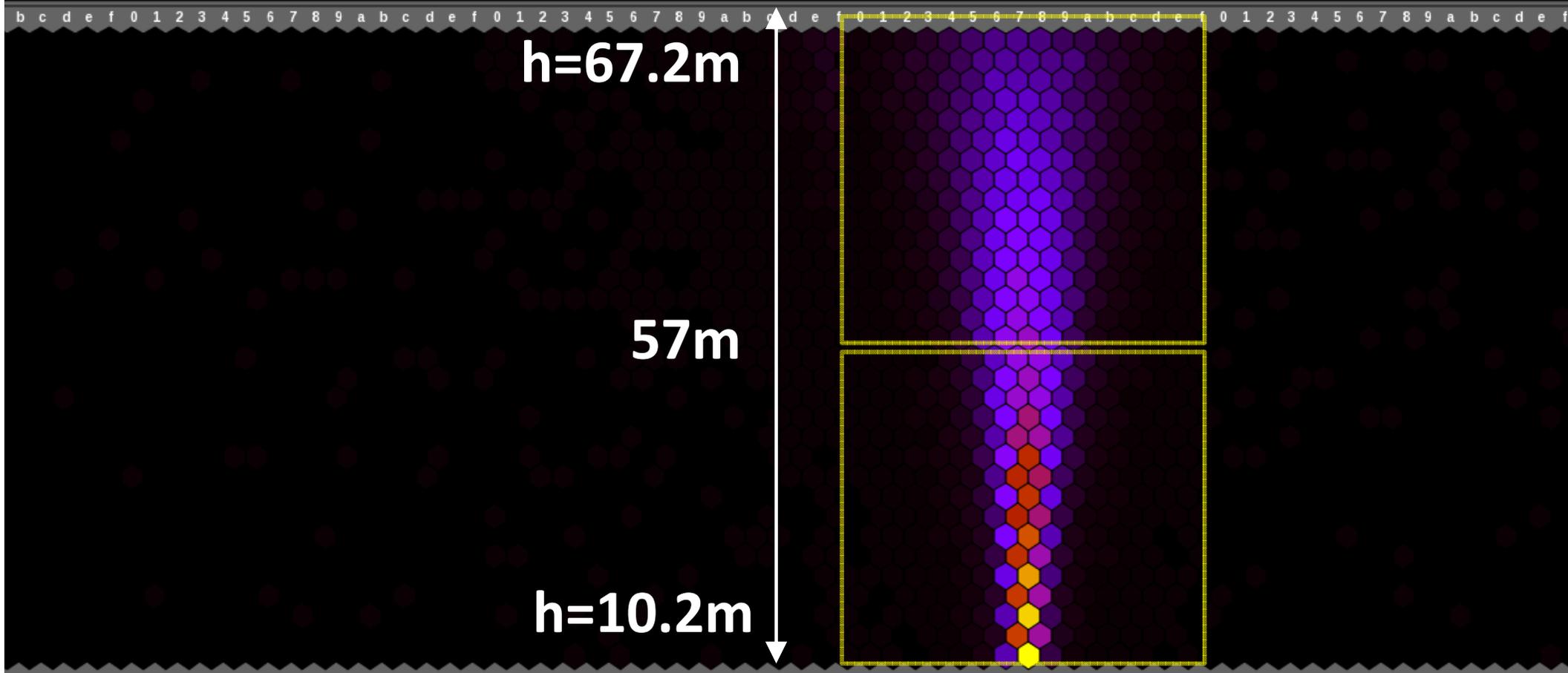
環境整備、放射線安全対策



加速器ユニットと冷却装置はコンテナ内に収納

2010年9月 加速試験 開始

ELSイベントのアニメーション(1フレーム100nsec)



2011/11/20 取得 E=41.65MeV, パルス幅=1usec

ELSの解析状況(1)



ELSを用いたFDの絶対エネルギー較正の方法
= FDのFADC値をデータとシミュレーションで比較する

Real Data

FDデータセット

=2010年9月5日 取得データ 612パルス分

上下視野の2つの望遠鏡のFADC値のみを使用する(全FADC値で規格化)

MC と入力パラメータ

■ 空気シャワー生成シミュレーション = Geant4.9.4.p02, standard process

□ ビームエネルギー = 41.1 MeV

□ ビーム射出位置とFD間の距離,方向

距離=99.93 m

方向=ELS正面のFDの視野中心方向から時計周りに0.46度の方向

□ 気象条件 26.4 °C, 853 hPa, 湿度=12.2%

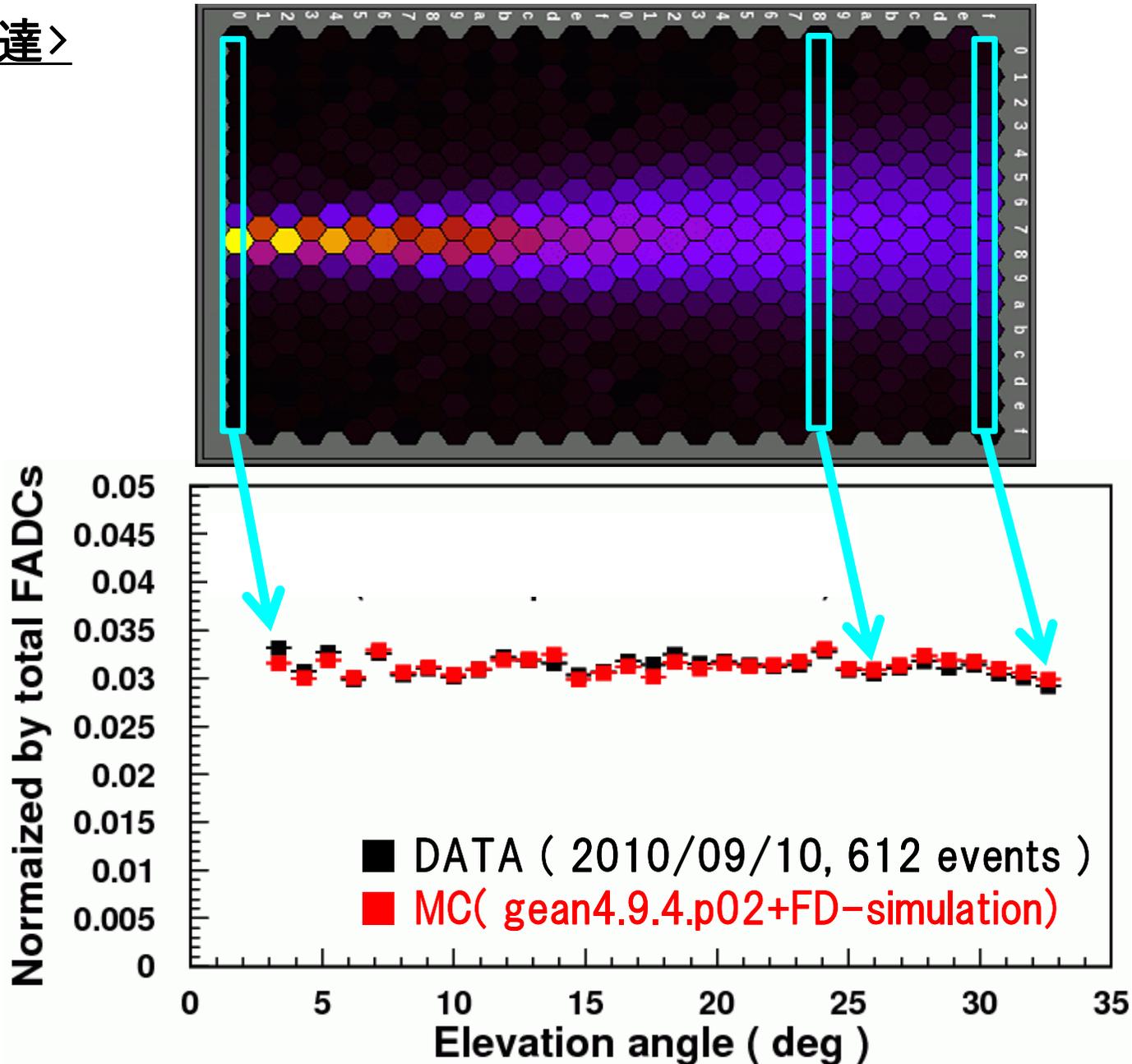
■ FDシミュレーション = TA解析で使用している公式ツール

ELSの解析状況(2)



FDで取得された観測データのデータとシミュレーションの比較(1)

〈縦方向発達〉



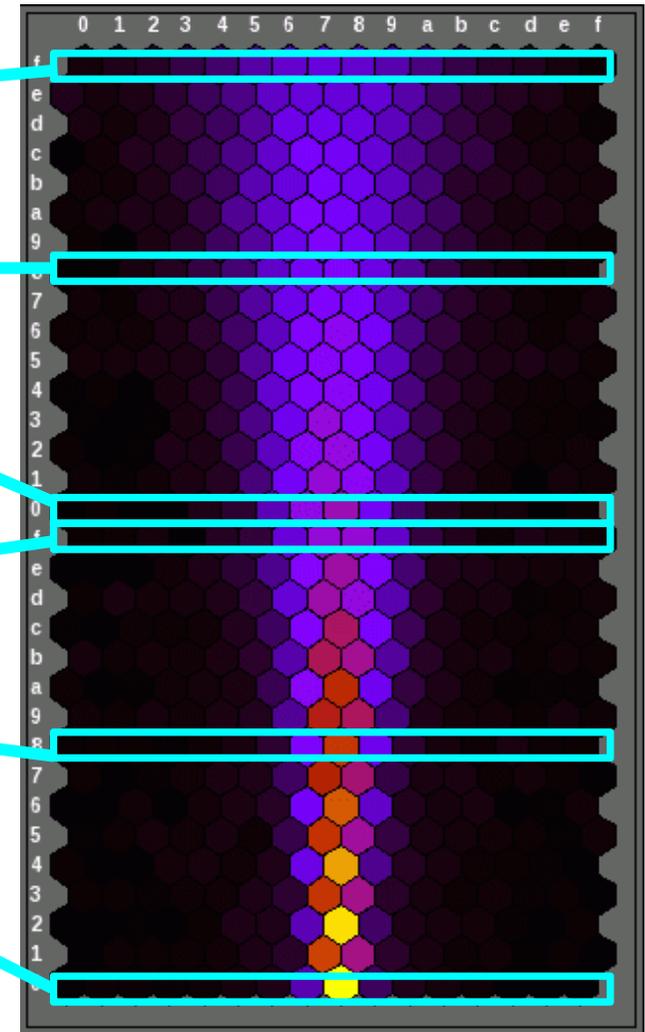
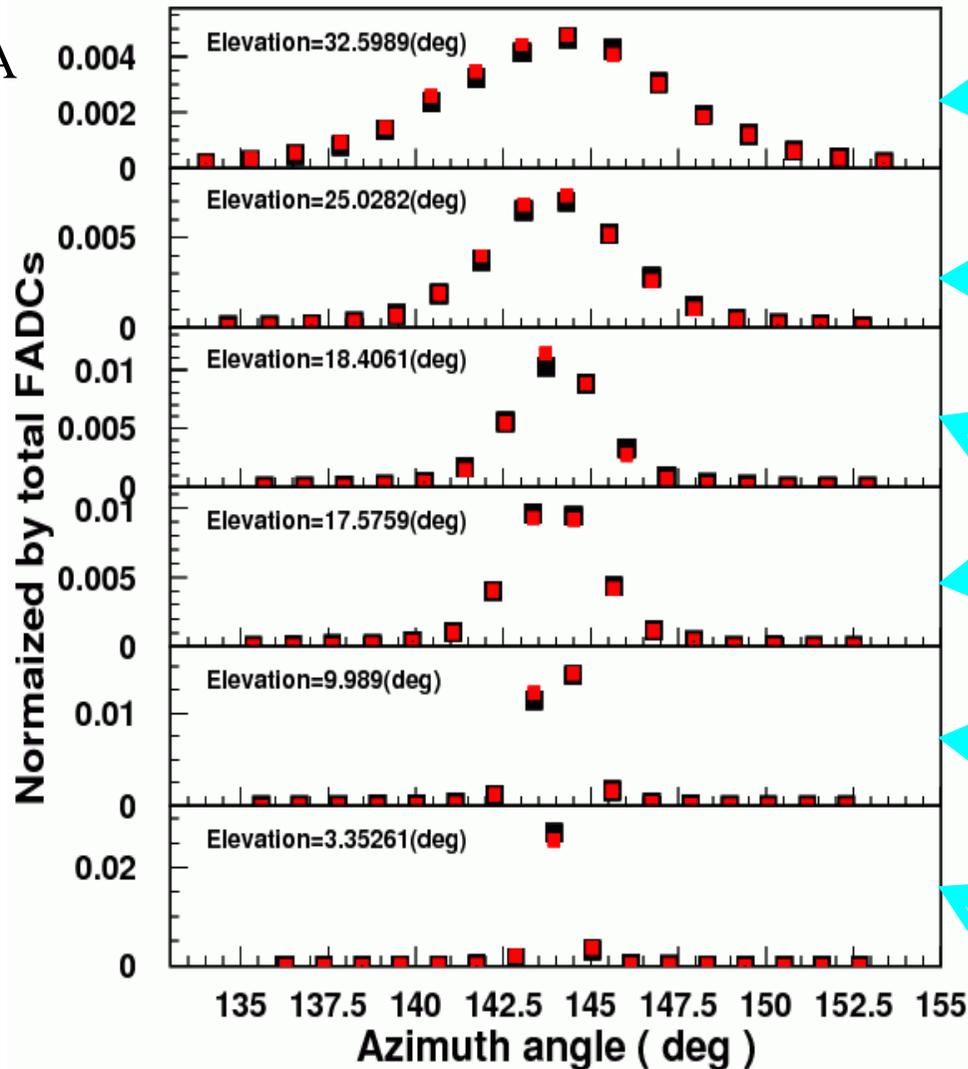
ELSの解析状況(3)



FDで取得された観測データのデータとシミュレーションの比較(2)

<横方向広がり>

■ DATA
■ MC



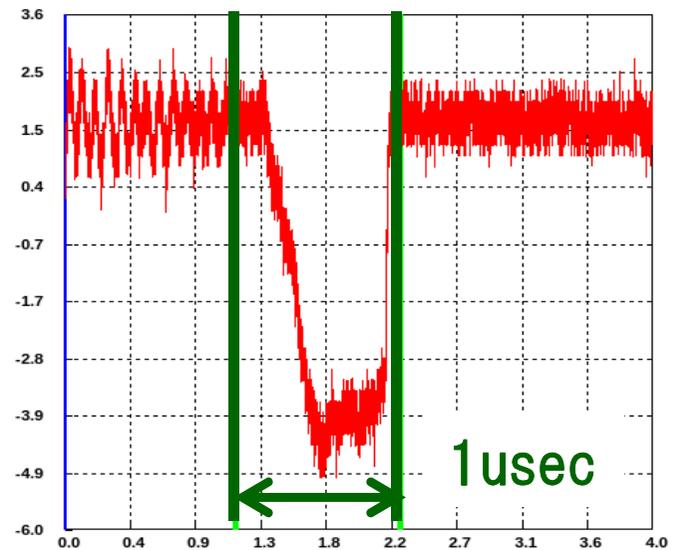
比較結果 シャワー発達の様子はDATAとMCとで良く一致している

ELSの解析状況(4)

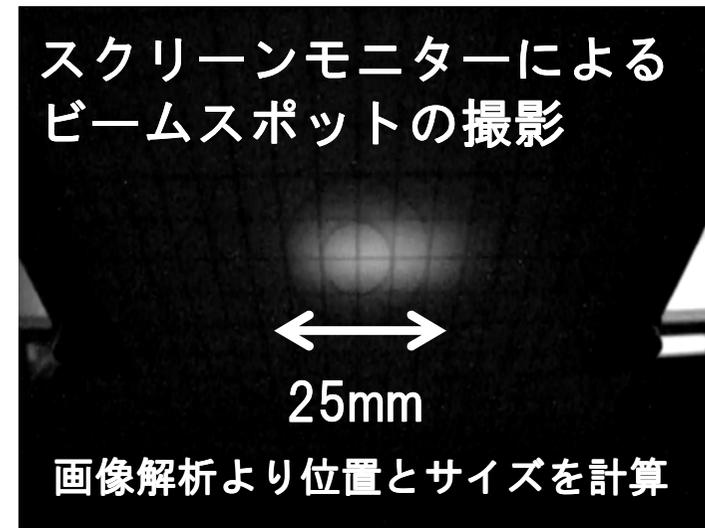


現在シミュレーションに必要なパラメータとその値について調べている

- **パルス毎のビーム電荷量** ($10^9 e^- / \text{pulse} = 160 \text{pC} / \text{pulse}$)
→ **ビームモニターによる測定(次頁)**
- **ビーム波形、ビーム方向(垂直方向からのずれ)**
→ 2011年11月に取得用のモニターを設置した



銅製のビームダンプより波形を記録



- **地磁気** → IGRF(国際標準地球磁気)より計算
現地での測定による値の裏付けも必要

パルス毎のビーム電荷量測定方法

■ 電流変換器

波形はオシロスコープで記録、ビーム破壊無しで測定可。

但し出力電流は小、応答関数は独立較正が必要

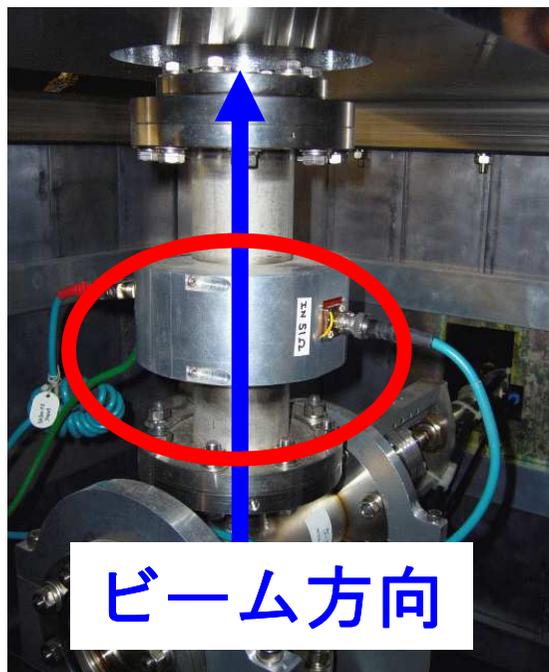
■ ビームダンプ(ファラデーカップ) サイズ 銅Φ60mm×100mm

□ 生のビーム波形をオシロスコープで記録、電荷量計算も容易。

但しビーム破壊有。

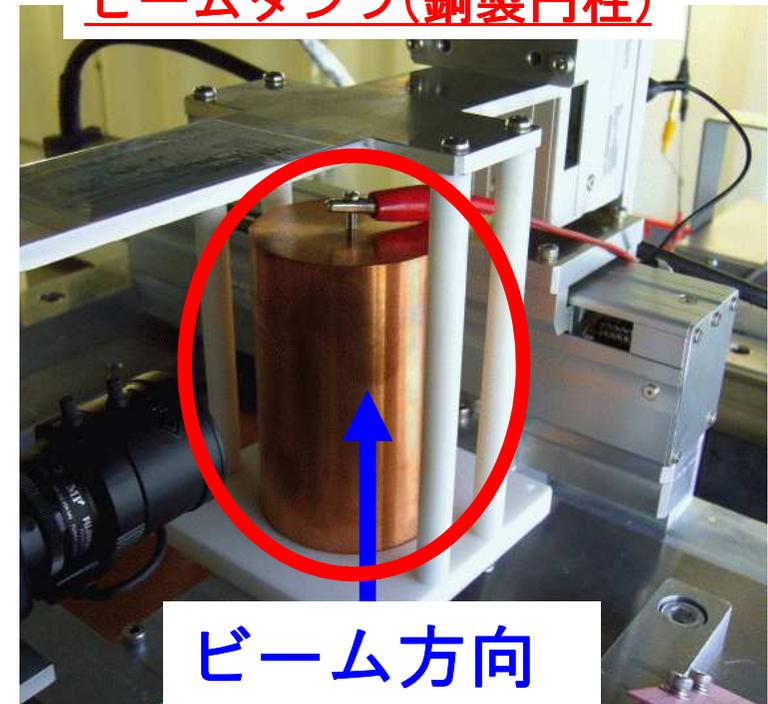
□ クーロンメータでの電荷量直接測定可。但しノイズ対策が難しい。

電流変換器(コアモニター)



←→
同時測定による
クロスチェック

ビームダンプ(銅製円柱)

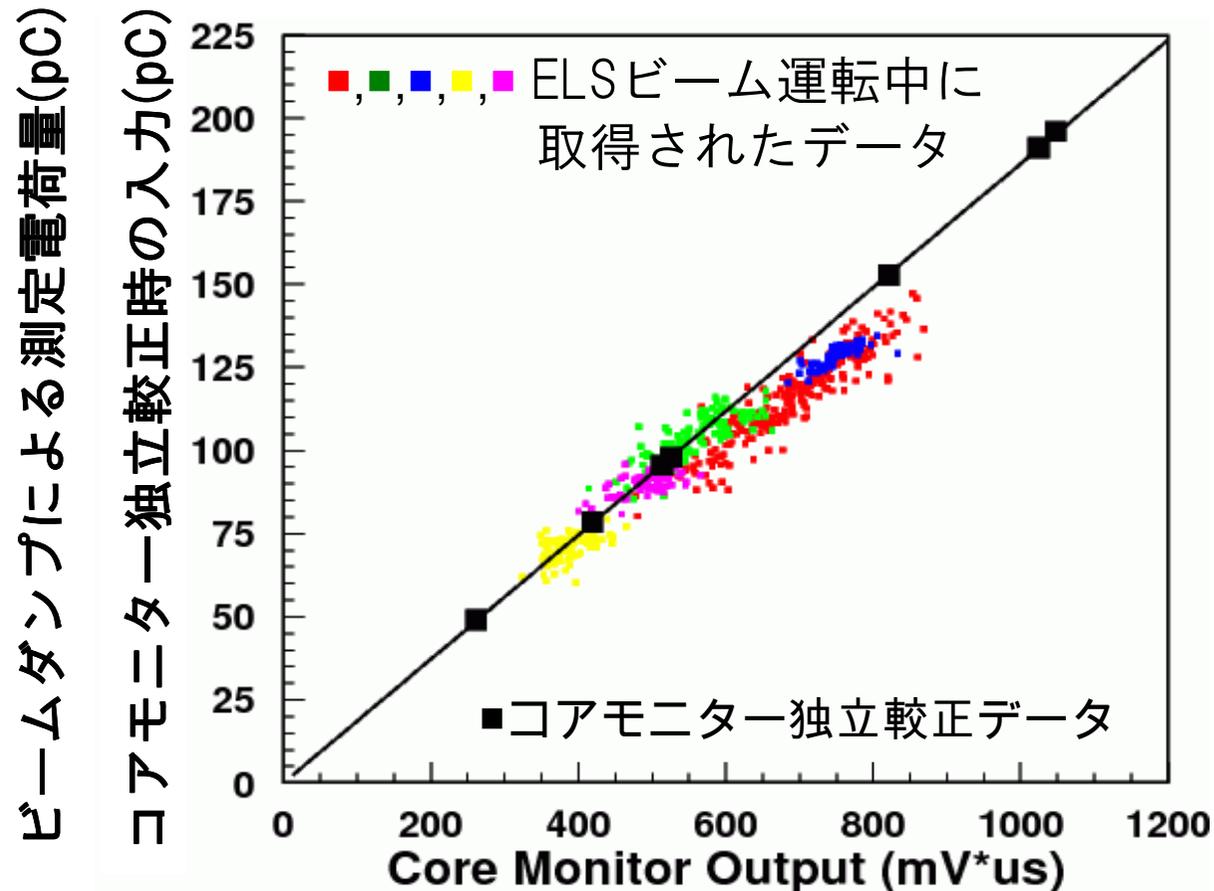


ビーム電荷量測定(2)



2011年11月にビーム運転を行い、ビーム電荷量測定を行った。

コアモニターとビームダンプによる電荷量測定の相関結果



コアモニター独立校正結果と多少不一致

→ ビーム電荷量が正しく測定されている確証が得られない

原因候補 = ビームの方向、広がりによるビーム損失、ノイズの影響



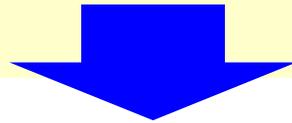
まとめ

UHECR観測実験では「エネルギー決定精度の向上」が大きな課題

→ 絶対エネルギー較正源が必要

テレスコープアレイ実験では「電子加速器(ELS)」を利用
(ELS=Electron Light Source)

2010年9月アメリカ・ユタ州のTA実験観測サイトにてELSの稼働開始



2010年9月取得データを用いた解析 並びに ビームモニタースタディ

- シミュレーションを生成し、データとの比較

→ 41.1MeVの電子ビームによる空気シャワーの縦・横方向発達
但し、全FADC値で規格化して比較

結果：データとシミュレーションが良く一致している。

→ 次の課題 ■ 電荷量測定の改善

■ その他のビーム発達決定パラメータの導入

→ FDエネルギースケールの検証