

## A Portable Linear Accelerator for Observation of Ultra High Energy Cosmic Ray

Daisuke IKEDA <sup>A)</sup>, Yohsuke IINO <sup>C)</sup>, Mitsuo IKEDA <sup>B)</sup>, Atsushi ENOMOTO <sup>B)</sup>, Satoshi OHSAWA <sup>B)</sup>, Kazuhisa KAKIHARA <sup>B)</sup>, Hiroyuki SAGAWA <sup>A)</sup>, Masanori SATOH <sup>B)</sup>, Tatsunobu SHIBATA <sup>A)</sup>, Tetsuo SHIDARA <sup>B)</sup>, Takashi SUGIMURA <sup>B)</sup>, Masaki FUKUSHIMA <sup>A)</sup>, Shigeki FUKUDA <sup>B)</sup>, Kazuro FURUKAWA <sup>B)</sup>, Mitsuhiro YOSHIDA <sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Institute for Cosmic Ray Research (University of Tokyo)

5-1-5 Kashiwa-no-ha, Kashiwa-shi, Chiba-ken, 277-8582

<sup>B)</sup> High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801

<sup>C)</sup> Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

10 Ohe-cho, Minato-ku, Nagoya, Aichi-ken, 455-8515

### Abstract

When an ultra high energy cosmic ray (UHECR) strikes the top of the Earth's atmosphere, it creates many secondary particles like shower. We call this phenomenon an air shower. The Fluorescence Detector (FD) in Telescope Array experiment (TA) observes UHECR to detect fluorescence light generated by air shower. However, the systematic error of estimated energy of primary cosmic ray by FD is not small, about 23%. So we proposed the method of absolute energy calibration which use pseudo air shower created by electron beam from portable linear accelerator, called TA-LINAC. The maximum energy is 40MeV, peak current is 0.16mA, and time width is 1 micro second. We are developing this small accelerator at KEK. We plan to start beam test at KEK from end of this August, and in this winter we will start this calibration at experimental site.

## 超高エネルギー宇宙線観測較正用 可搬式小型電子線形加速器の開発

### 1. はじめに

超エネルギー宇宙線(UHECR)の観測はこれまで AGASA実験<sup>[1]</sup>、High Resolution Fly's Eye(HiRes)実験<sup>[2]</sup>らによって行なわれており、観測された最高エネルギーは $10^{20}$ eVを超えている。このような超高エネルギー粒子の生成機構は未だ解明されていない。また、宇宙線のエネルギースペクトルは、宇宙背景放射との相互作用から $10^{19.6}$ eVにカットオフを持つことが予言されている<sup>[3][4]</sup>が、両実験結果はカットオフの有無という点で異なる。これはUHECRの起源を解明する上で解決すべき問題である。

Telescope Array(TA)実験<sup>[5]</sup>は、米国ユタ州の砂漠約800km<sup>2</sup>に、AGASA型の検出器である地表検出器(SD)とHiRes型の検出器である大気蛍光望遠鏡(FD)の両方を設置しUHECRの同時観測を行なう。これにより両実験結果の不一致を理解し、UHECRの起源の解明を目指す。

FDは口径3.3mの分割鏡と、256本のPMTで構成されたカメラによる望遠鏡である。これを上下2段、6組の計12台のFDで1つのFDステーションを構成する。UHECRは大気に突入すると、シャワー状に大量の2次宇宙線を生成する。これは空気シャワーと呼ばれる。FDは、シャワー内の荷電粒子によって励起された窒素から発生する大気蛍光を観測することで、

間接的に1次宇宙線を観測する。しかしFDによる1次宇宙線のエネルギー推定の不定性は約23%と大きい。そこで小型の電子線形加速器(TA-LINAC)を観測地である砂漠に設置し、エネルギーが既知の電子ビームを大気中に打ち上げ、それをFDで観測することでFDの絶対エネルギー較正を行なうことを計画している<sup>[6]</sup>。加速器を用いたFDの一括較正はこれまで行われておらず、TA-LINACが初の試みとなる。

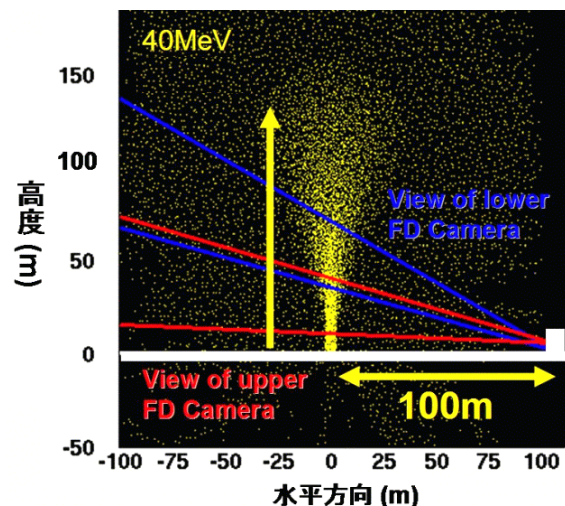


図1：TA-LINACによる較正の模式図。  
シャワーはGEANT4で生成した結果である。

## 2. TA-LINACの仕様

TA-LINACの電子ビームの仕様は、エネルギーは10~40MeVで可変、ピーク電流値は0.16mA(電子 $10^9$ 個に相当)、ビーム幅は $1\mu\text{s}$ 、頻度は最大1Hzである。このビームを、FDから距離100mの地点から大気中に垂直に打ち上げる。観測サイトの中央からFDまでの距離は約10kmであるが、100m離れたエネルギー40MeVの電子 $10^9$ 個の光量は、10km離れた $10^{20}\text{eV}$ の空気シャワーに相当する。TA-LINACによるFD較正の模式図を図1に示す。

TA-LINACは全体を小型化し、40フィートコンテナに収納する形にする。これによりTA-LINACは移動可能であり、カメラの不感領域の回避や1FDステーション内の全カメラの較正が可能である。ただし初期は位置を固定にして較正を行なう予定である。

また観測地は砂漠地帯であるため、電気系統、冷却系等は独自の発電機、冷却ユニットを用意し、20フィートのサブコンテナに収納する。

## 3. TA-LINACのシステム

TA-LINACのシステムは、KEK電子陽電子入射器棟で撤去品となった機器を再利用することでコストを大幅に削減している。40フィートコンテナに搭載するTA-LINACのシステム全体図を図2に示す。重量はコンテナ込みで約20トンである。

### 3.1 ビームライン

ビームラインの上流部は100kV熱電子銃、KEK電子陽電子入射器棟で使用された1.5mのプレバンチャ、バンチャ管<sup>[7]</sup>、2m加速管<sup>[8]</sup>1本で構成する。またバンチングユニットには5個のヘルムホルツコイルを設置し、電子銃直後とバンチングユニット、加速管

の間にはそれぞれコアモニタを設置する。

ビームライン下流は、四重極電磁石(ダブルレット)、90度偏向電磁石、50mm厚のタンタルを用いた可変スリット、0.1mm厚ステンレス製ビーム窓で構成する。またモニタ系としてコアモニタとスクリーンモニタを設置する。ビームエネルギーは90度偏向電磁石のスリット、コアモニタによって1%の精度で決定する。電流は誤差1%の測定を目指す。この校正にはファラデーカップを用いる。

### 3.2 高周波系

加速RFにはSバンドを使用し、必要とする出力は最大40MW程度である。クライストロンは三菱製のPV-3030を1台使用し、バンチャと2m加速管にRFを分割比1:1で入射する。ただしバンチャ側RFの1%はプレバンチャ用に分配する。2m加速管の前に大電力移相器、プレバンチャの前に移相器と減衰器を設置する。また高周波用パルスモジュレータはCバンド用スマートモジュレータ<sup>[9]</sup>を改修して使用する。

クライストロンを搭載するオイルタンクは新規に製作した。これはコンテナの高さの制限から、背の低いタンクを必要とした為である。またタンク内のパルストランスから電子銃用の電圧100kVを引き出し、タンクの上部に電子銃用高圧ステーションを設置することでスペースを削減している。

### 2.3 真空系

システム全体の真空は3.8mマニホールドを通して500L/sイオンポンプで引く。超高真空を要求する電子銃チェンバ、クライストロン直後にはそれぞれ60L/sイオンポンプを設置する。真空バルブを電子銃直後、2m加速管直後の2箇所を設置している。

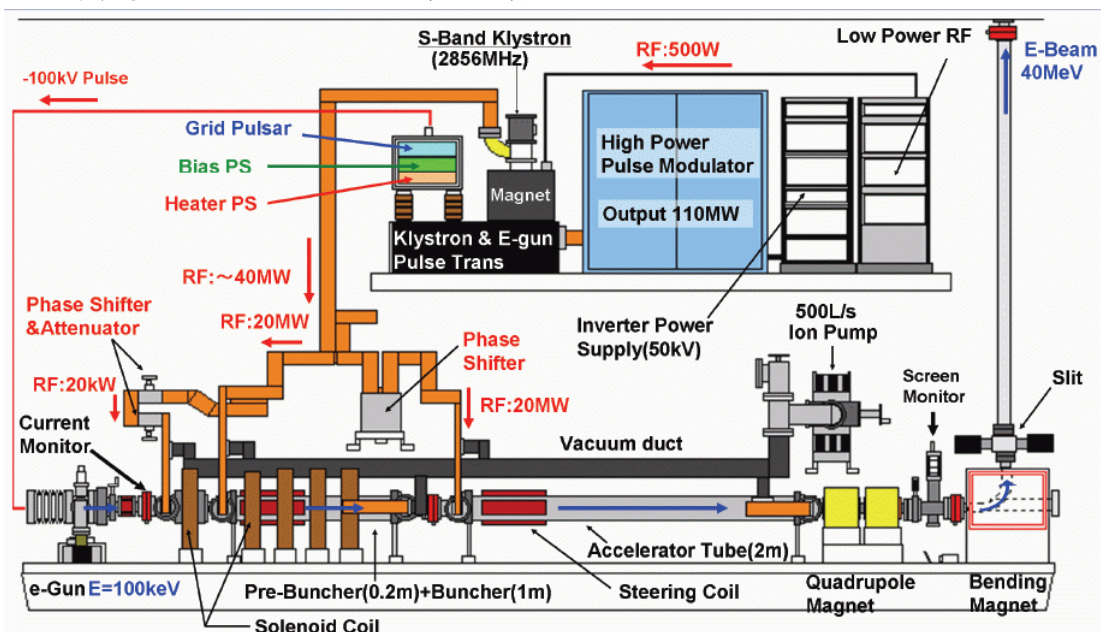


図2: TA-LINACのシステム全体図。

## 4. ビームシミュレーション

### 4.1 ビームライン

ビームライン上流はPARMELA<sup>[10]</sup>を使用して設計した。これによりクライストロン出力30MW時に、バンチングシステムではバンチ長がFWHMで3度のマルチバンチが形成され、電子銃出力の50%がバンチ化されることが分かった。また2m加速管への入力RF初期位相を動かすことで、出力ビームのエネルギーが10~40MeVまで変化することを確認した。

ビームライン下流はGEANT4<sup>[11]</sup>を用いた。PARMELAの利点は空間電荷効果を考慮出来る点であるが、TA-LINACの電流値が小さいため、空間電荷効果の影響は小さく、10~40MeVのエネルギーではさらに影響が小さくなるので、GEANT4を用いることが出来る。これによりスリットやビーム窓などで発生する2次粒子の影響も考慮することが出来る。図3にTA-LINACによる最終出力ビームのエネルギー分布を示す。低エネルギー側の分布はビーム窓を通過することで発生した2次粒子によるものである。

### 4.2 検出器シミュレーション

TA-LINACの電子ビームによる電磁シャワーの生成とFDによる大気蛍光の検出をGEANT4を用いて行ない、FD較正について調べた。電子ビームは4.1での結果を入力しており、2次粒子の影響やビームのエミッタンスによる影響なども考慮している。

この結果、TA-LINACによる較正だけで、FDのエネルギー決定の不定性を23%から17%に減少することが分かった。

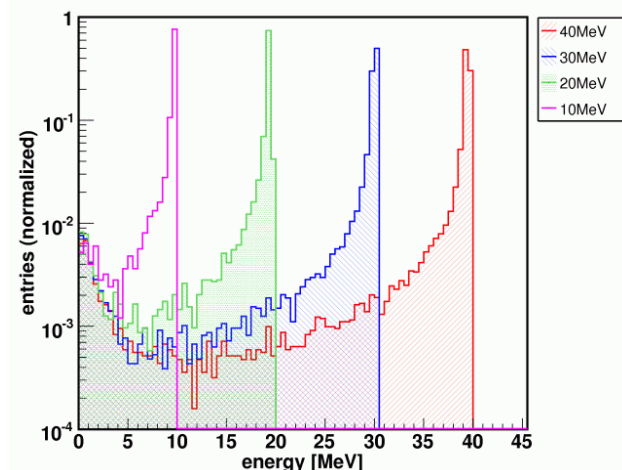


図3：ビームシミュレーションで得られた最終出力ビームのエネルギー分布。

## 5. TA-LINAC開発の現状と今後の予定

TA-LINACはKEK電子陽電子入射器棟の旧クライストロン準備室にて現在製作中である。図4に現在のTA-LINAC製作現場を示す。各機器を床枠上に設置し、米国に輸送する際には床枠ごと全体をコンテ

ナに収納する。ビームライン上の電子銃やバンチャ、プレバンチャ管、2m加速管、90度偏向電磁石などを設置した。導波管製作は完了し、立体回路の仮組みとVSWR測定を経て、本組みを開始している。

高周波系は、高周波用パルスモジュレータとその制御系の改修を終え、クライストロンを含めて設置を完了している。またウォーターロードを用いた大電力試験により40MWの出力を確認した。

モニタ系は、ファラデーカップ、スクリーンモニタの準備を完了した。現在、低電流用コアモニタの開発を進めている。

8月末にはフルシステムのビームテストを予定している。ビームテストを終えた後、米国に輸送し、今年の冬から観測地でTA-LINACによる較正を開始する予定である。

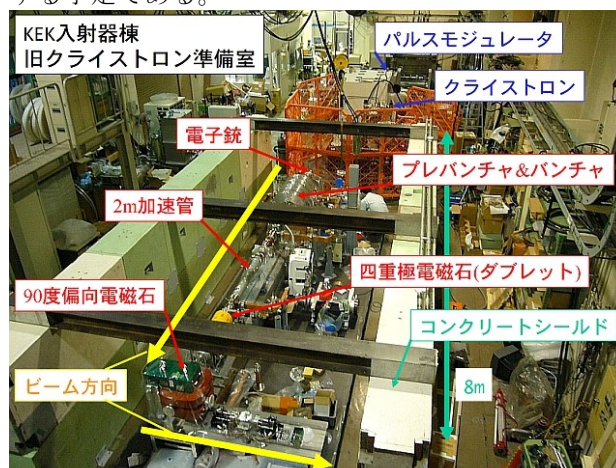


図4：製作現場(KEK旧クライストロン準備室)

## 6. まとめ

可搬式小型線形加速器であるTA-LINACはビームシミュレーションによる設計を完了し、現在製作中である。またTA-LINACによる較正をシミュレーション上で行い、FDによるエネルギー決定精度を23%から17%に減らせることが分かった。2007年8月末にKEKにてビームテストを行ない、2007年冬には米国の観測地でFD較正を開始する予定である。

## 参考文献

- [1]M.Takeda et al., AstroPhys.J 522, 225 (1999).
- [2]G.B.Thomson, astro-ph/0609403.
- [3]K.Greisen, Phys.Rev.Lett. 16, 748 (1966).
- [4]G.T.Zatsepin and V.A.Kuzmin, JETP.Lett.81, 1163 (1998).
- [5]M.Fukushima et al., Proc. of 30th ICR, Merida (2007).
- [6]T.Shibata et al., Proc. of 30th ICR, Merida (2007).
- [7]S.Ohsawa et al., proc. of PAC93, Washington D.C. (1993).
- [8]I.Sato, Nucl.Inst.and Meth., 177, 91 (1980).
- [9]H.Baba, et al., proc. of APAC98, Tsukuba (1998).
- [10]H.Billen and L.M.Young, PARMELA User's Manual, Los Alamos Accelerator Code Group, LA-UR-96-1835
- [11]S.Agostinelli et al., Nucl.Instrum.Meth., A 506, 250 (2003).