

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

Daisuke IKEDA ^{A)}, Yohsuke IINO ^{C)}, Mitsuo IKEDA ^{B)}, Atsushi ENOMOTO ^{B)}, Satoshi OHSAWA ^{B)}, Kazuhisa KAKIHARA ^{B)}, Takuya KAMITANI ^{B)}, Yoshimi KONDO ^{B)}, Hiroyuki SAGAWA ^{A)}, Masanori SATOH ^{B)}, Tatsunobu SHIBATA ^{A)}, Tetsuo SHIDARA ^{B)}, Takashi SUGIMURA ^{B)}, Masaki FUKUSHIMA ^{A)}, Shigeki FUKUDA ^{B)}, Kazuro FURUKAWA ^{B)}, Toshihiro MIMASHI ^{B)}, Mitsuhiro YOSHIDA ^{B)}

^{A)} Institute for Cosmic Ray Research (University of Tokyo)

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, Accelerator Laboratory (KEK)

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

^{C)} 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 the 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 enough, 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 started beam test at KEK in last February. We plan to finish this beam test in next November, and in next spring 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^[1]、High Resolution Fly's Eye(HiRes)実験^[2]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想されている^{[3][4]}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り、現在Telescope Array(TA)実験^[5]、Auger実験^[6]らが観測を行なっている。

TA実験の大気蛍光望遠鏡(FD)は口径3.3mの分割鏡と256本のPMTによるカメラで作られた望遠鏡を、上下2段、6組の計12台備えている。TA実験はFD2つに加え、HiRes実験から移設したFDを含めて3つのFDを米国ユタ州の砂漠に設置している。

UHECRは大気に突入すると、シャワー状に大量の粒子を生成する。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^[7]。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。

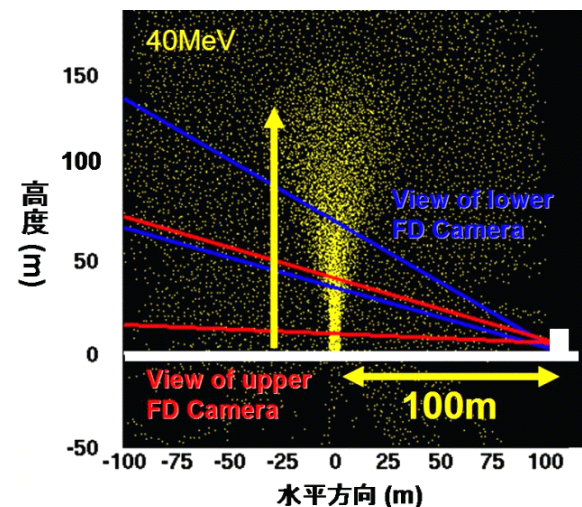


図1：TA-LINACによる較正の模式図。
シャワーはGEANT4で生成した結果である。

2. 仕様と構成

TA-Linacの仕様、構成に関しては、前回の本会議で紹介した^[7]。そこで簡単な説明と、前回報告時からの変更点について述べる。

2.1 仕様

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の地点から大気に垂直に打ち上げる。TA-LINACによるFD較正の模式図を図1に示す。

またTA-LINAC全体を小型化し、40フィートコンテナ、20フィートコンテナの2つに収納する。これによりTA-LINACは移動可能となる。ただし初期は位置を固定して較正を行なう。

2.2 構成

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。

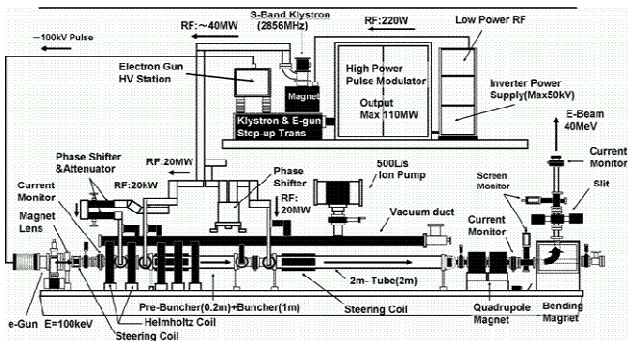


図2: TA-LINACのシステム全体図。

ビームラインは100kV熱電子銃、1.5mのプレバンチャ、バンチャ管^[8]、2m加速管^[9]1本で構成する。その下流側には、90度偏向電磁石、50mm厚のタンタルを用いた可変スリット、0.13mm厚チタン合金製ビーム窓を設置する。これらのビームラインの設計はPARMELA^[10]、Geant4^[11]によるビームシミュレーションを通して行った。

加速高周波はSバンドを用いており、クライストロン1台からプレバンチャ、バンチャ、加速管にそれぞれ供給する。RFの最大出力は40MWだが、通常25MW程度で運転を行なう。

光学系は、バンチングユニット上に5個のヘルムホルツコイル、加速管後に四重極電磁石(ダブレット)を用意した。また電子銃直後、バンチャ、加速管の3か所にはステアリングコイルを設置した。

ビームモニタとしては、電子銃直後とバンチングユニット、加速管の間、ビーム窓直前の4か所にそれぞれコアモニタ(CM)、偏向電磁石前後2か所にスクリーンモニタを設置した。またビーム射出口には移動可能なファラデーカップ(FC)を設置し、電流の

絶対値を測定する。またビームダンプとしても用いる。

ビームエネルギーは90度偏向電磁石の磁場とスリット、コアモニタによって1%の精度で決定する。電流はFCでCMを較正することで、誤差5%以下の測定を目指す。

3. KEKビーム試験の現状

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製作しており、2008年2月末からフルシステムのビーム試験を開始した。図3にシールド設置前のTA-LINAC製作現場を示す。現在これらは50cm厚コンクリートシールドによって覆われている。

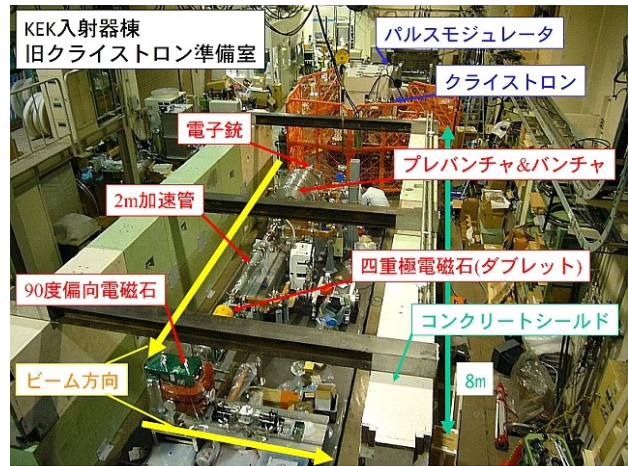


図3: 製作現場(KEK旧クライストロン準備室)

3.1 試験の設定

ビーム試験は基本的には現地と同様の設定で行なっているが、いくつか異なる点もある。まずビーム繰り返しは現地では1Hzで運用する予定だが、試験は約0.5Hzで運転している。これは放射線強度に余裕を持たせるためである。また0.13mm厚チタン合金窓は試験開始後に制作した物なので、現在まだ設置されていなく、現在は0.1mm厚ステンレス窓で試験を行なっている。また試験では加速ラインのみコンクリートシールドで覆っているが、現地では全体がコンテナ内に収納される。そのためノイズ環境が異なる可能性がある。

またクライストロンからのRF出力は30MW程度を予定していたが、試験してみたところ、加速管内の加速勾配が想定していたよりも高いことが分かった。そのため現在は22MWで運転している。

3.2 エネルギー測定

TA-Linacでは90度偏向電磁石の磁場でビームのエネルギーを決定する。また磁場を変化させなが

ら偏向後の電流測定を行うことでビームのエネルギー分布が分かる。エネルギー分布の測定結果を図4に示す。偏向後にはFCとCM二つの電流測定器があるので、それぞれで測定した値を示している。分布のテール部分でノイズによる影響がみられるが、最大幅で約4%程度に広がっていることが分かる。またピークの位置は39.8MeVであり、要求値である40MeVを達成している。

実際にこの分布すべてが大気に射出される訳ではなく、偏向電磁石後に可変スリットがあるため、欲しいエネルギー幅で切りだすことができる。図4の緑の領域がピーク±1%幅であるが、運用時にはこの辺りで切るように設定する予定である。

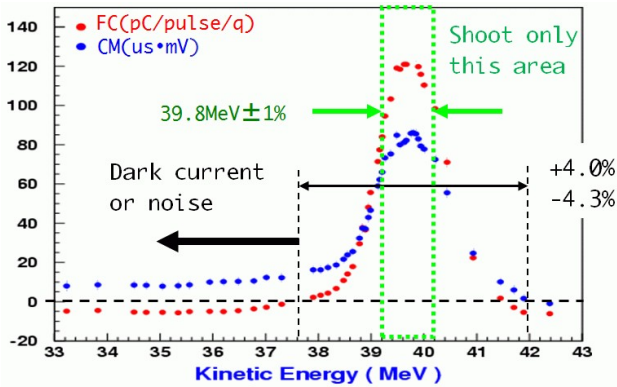


図4：エネルギー分布測定結果

3.3 電流測定

TA-Linacに要求されるビームの電流量は0.16mA/pulseと非常に小さい。そのため問題は小さい電流量で安定させることと、それをいかにして測定するかという点にある。

電流量の絶対値はFCによって決定される。FCはGeant4によるビームシミュレーションを通して設計されており、40MeVビームで1%以下の精度でもって測定可能である。ただしFCで射出口を塞ぐと当然ビームは射出出来ない。そこでFCで射出口直前のCMを較正し、射出中はCMの値から電流値を読み取ることになる。そこでこの二つの測定値の相関を取り、その再現性を調べた。その結果、偏向電磁石後のスリット幅を広くすると、再現性が悪くなることが分かった。

元々スリット幅は12mmに設定していた。これはエネルギー幅で約±1%に相当する。この状態で再現性を測定したところ、標準誤差で約5%程度ばらつくことが分かった。スリット幅を狭くすると再現性が良くなり、スリット幅3mmだと±3%以下の誤差で電流を測定できる(図5)。目標値が5%なので、この状態では要求を満たしている。

この原因はまだ不明だが、恐らくビームサイズが想定しているよりも大きく、CMとFCで見える

電荷量に変化しているのだと思われる。スリット幅を狭くすれば再現性は良くなるが、ビームロスの量が増えることにより放射線強度が増えてしまう。そのため安易に小さくできない。今後ビームを詳細に調べ、原因究明と対策を行う。

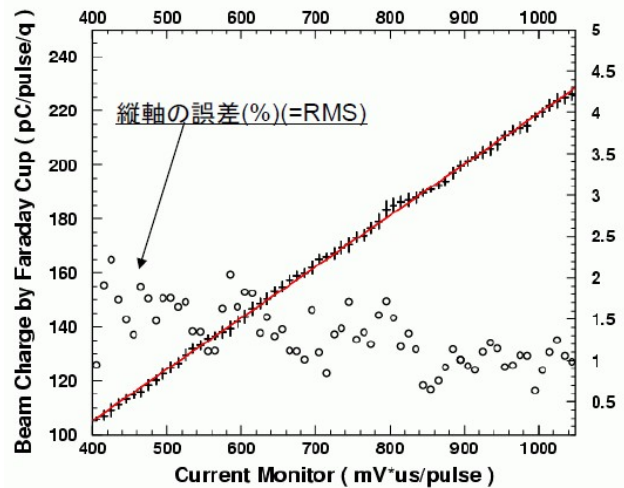


図5：スリット幅3mmの場合のFCとCMの出力の相関。赤線は線形フィットの結果。

3.4 今後の予定

今後のKEKビーム試験は、3.3節の原因究明が主となる。これを10月末まで行なう。その後1ヵ月程度輸送準備を、11月末に米国ユタ州に輸送する予定である。その後、2月末に現地において、装置の立ち上げを行い、3月末には現地において運用を開始する予定である。

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KEKにおいてフルシステムのビーム試験を行なっている。エネルギーや電流量など、ビームの基本的な要求値を満たすことは確認した。今後、KEKにて電流測定の精度の改善を行ない、2009年2月には米国ユタ州の砂漠において、運用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 ICRC, Merida* (2007).
- [6] K.H. Kampert, *arXiv:astro-ph/0608136*
- [7] D. Ikeda et al., *Proc. of 4th PASJ, Wako* (2007)
- [8] S. Ohsawa et al., *Proc. of PAC93, Washington D.C.* (1993).
- [9] I. Sato, *Nucl.Inst.and Meth.*, 177, 91 (1980).
- [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).